Aus dem Institut für Veterinär-Physiologie
an der Freien Universität Berlin
(Direktor: Professor Dr. G. Wittke)

Der Säure-Basen-Status im Blut von Trabrennpferden nach definierter Belastung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
durch den Fachbereich Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Arnfried Schulze
Tierarzt aus Tilsit

Berlin 1970
Journal-Nr. 707

Aus dem Institut für Veterinär-Physiologie
an der Freien Universität Berlin
(Direktor: Professor Dr. G. Wittke)

Der Säure-Basen-Status im Blut von Trabrennpferden nach definierter Belastung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
durch den Fachbereich Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Arnfried Schulze
Tierarzt aus Tilsit

Berlin 1970
Journal-Nr. 707

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

Vorsitz :	Prof. Dr. J. Boch
Referent :	Prof. Dr. G. Wittke
Korreferent :	Prof. Dr. H.-J. Wintzer

Tag der mündlichen Prüfung : 10. Juli 1970

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	Einleitung und Fragestellung	1
II.	Vorbemerkungen und Definitionen	3
III.	Literaturübersicht	6
	1. Methoden	6
	2. Befunde	12
IV.	Eigene Versuche	26
	1. Versuchstiere und Methode	26
	2. Kritik der Methode	33
	3. Ergebnisse	37
V.	Besprechung der Ergebnisse	46
VI.	Zusammenfassung	56
VII.	Tabellen	57
VIII.	Literaturverzeichnis	66

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

I. Einleitung und Fragestellung

Höchstleistungen erfordern optimales Training. Gerade das wird jedoch beim Sportpferd noch überwiegend nach empirischen Regeln praktiziert, deren Brauchbarkeit bisher wissenschaftlich kaum begründet worden ist. Deshalb ist eine Trainingsforschung erforderlich, welche durch planmäßige leistungsphysiologische Untersuchungen die Effektivität der bislang geübten Methoden überprüft, um sie gegebenenfalls verbessern zu können. Der hierfür entscheidende Ansatzpunkt ist die Kenntnis objektiver Kriterien des Trainingszustandes und der Leistungsfähigkeit.

Die Möglichkeiten, dazu notwendige Informationen zu erhalten, sind indessen beschränkt. Schon der Versuch, vergleichbares Material in ausreichender Menge zu erhalten, stößt im allgemeinen auf Schwierigkeiten. Wenn es vorhanden ist, möchten die Besitzer das gesundheitliche Risiko, das ihren wertvollen und empfindlichen Rennpferden bei experimentellen Untersuchungen entsteht, klein halten. Mithin sind nur minimale Eingriffe erlaubt, aus denen man möglichst ein Maximum an Information beziehen muß.

Mit dieser Arbeit soll durch Analysen jugularvenösen Blutes ein Einblick in Verschiebungen des Säure-Basen-Gleichgewichtes bei Trabrennpferden auf verschiedenen Leistungsstufen gewonnen werden.

Man hat schon häufig den ins Blut übergeleiteten Säureüberschuß infolge Muskeltätigkeit als Indikator der Belastung untersucht. Diese Arbeitsazidität ist zu über 90 % auf die Milchsäure zurückzuführen, die schnell entstehen und kurzfristig in das kursierende Blut übertreten kann. Dem Säureüberschuß entspricht eine Abnahme der Pufferkapazität. Durch zahlreiche Untersuchungen, vornehmlich am Menschen, sind die Veränderungen der Milchsäure - und CO_2-Konzentrationen im Blut während körperlicher Arbeit bekannt.

Auch an Pferden sind ähnliche Ermittlungen angestellt worden, ihre Anzahl ist jedoch gering.Die wenigen vorhandenen Arbeiten müssen überdies kritisch beurteilt werden. Viele Untersuchungen, die z.T. Jahrzehnte zurückliegen, sind mit Methoden angestellt worden, die heute als überholt betrachtet werden müssen. Andere sind wohl an Pferden, nicht aber an trainierten Sportpferden gemacht worden. Schwierigkeiten in der Bewertung früherer Befunde machen auch unscharfe Definitionen von Meßgrößen wie etwa "Alkalireserve" oder "CO_2-Gehalt" des Blutes. Der Begriff "Standardbikarbonat" ist erst 1957 von ASTRUP (3) eingeführt worden. So kommt es, daß auch in neueren Arbeiten mit "CO_2-Gehalt" nicht unbedingt jener der ASTRUPschen Definition gemeint ist.

Weiterhin erschweren unterschiedliche Meßverfahren zur Ermittlung von Standardbikarbonat und Milchsäure einen Vergleich der Resultate. Nur wenige Bikarbonatbestimmungen basieren z.B. auf der genauen VAN SLYKE-Analyse. Hinzu kommen im Hinblick auf den CO_2-Gehalt unterschiedliche Berechnungsarten, welche z.T. auf die Vermeidung der langwierigen VAN SLYKE-Analyse zurückzuführen sind.So hat man gelegentlich zur Ermittlung des CO_2-Gehaltes auf Nomogramme, welche nur für Menschenblut gelten, zurückgegriffen. Schließlich ist bei den Pferden die körperliche Belastung selbst nicht hinreichend genau definiert worden, so daß die Meßergebnisse nicht ergometrisch interpretiert werden konnten.

In dieser Arbeit wird der Versuch gemacht, an Trabrennpferden das Verhalten des Säure-Basen-Gleichgewichtes unter definierten Belastungen zu prüfen, um damit zu einer besseren Kenntnis der Leistungsphysiologie des Rennpferdes beizutragen.

II. Vorbemerkungen und Definitionen

Da sich größere pH-Schwankungen auf viele Stoffwechselfunktionen hemmend auswirken, benötigt der Organismus Regulationsmechanismen, welche die optimale Wasserstoffionenkonzentration bei Veränderungen im Säure-Basen-Haushalt gewährleisten können. Hierzu verfügt er über zwei verschiedene Systeme, mit denen er einmal im Überfluß auftretende Säureäquivalente abpuffern und zum anderen durch Lunge und Niere (sowie in geringerem Maße durch Haut- und Dickdarmdrüsen) ausscheiden kann. Unter den Puffersystemen des Blutes spielt neben dem Oxyhämoglobin-Hämoglobinsystem, dem Plasmaeiweiß- und dem Phosphatpuffer das Kohlensäure-Alkalibikarbonatsystem eine wichtige Rolle.
Im Organismus vorkommende Verschiebungen im Säure-Basen-Haushalt können metabolische oder respiratorische Ursachen haben. So kann eine Alkalose respiratorisch durch Hyperventilation zustande kommen. Als Folge der verstärkten CO_2-Abgabe tritt ein CO_2-Defizit mit Alkalisierung des Blutes auf. Kompensatorisch scheidet die Niere dann mehr Bikarbonat aus. Eine Alkalose kann aber auch metabolisch durch den Verlust saurer Äquivalente oder starke Alkalizufuhr bedingt sein. Kompensatorisch wirkt dann eine Hypoventilation in Richtung auf eine sekundäre respiratorische Azidose.
Eine Azidose kann respiratorisch durch Hypoventilation verursacht sein. Durch Ansteigen des pCO_2 wird das Blut gesäuert. Kompensatorisch arbeitet die Niere auf eine sekundäre metabolische Alkalose hin. Die metabolische Azidose infolge starker körperlicher Arbeit wird vor allem durch das Ansteigen fixer Säuren wie der Milchsäure und der Brenztraubensäure verursacht.

ASTRUP (3) definierte die metabolische Azidose als einen Zustand mit primärer, nicht respiratorisch bedingter Herabsetzung des Standardbikarbonats. Kompensatorisch wirkt eine Zunahme der Atemantriebe, die eine alveoläre Hyperventilation zur Folge hat. Durch Abatmung von Kohlendioxyd sinken der alveoläre und damit der arterielle CO_2-Druck, wodurch der vorher abgefallene pH-Wert wieder ansteigt. Der pCO_2 ist also der metabolischen CO_2-Bildung direkt proportional und der Lungenventilation umgekehrt proportional.
Nach ASTRUP (3) ist eine metabolische Azidose nicht kompensiert, wenn der pCO_2 nicht herabgesetzt ist. Teilweise kompensiert ist sie zu nennen, wenn der pCO_2 zwar herabgesetzt, der pH-Wert jedoch dadurch nicht normalisiert worden ist. Vollständige Kompensation liegt vor,wenn der pCO_2 soweit herabgesetzt ist, daß der pH-Wert seine frühere Höhe wieder erreicht. Der primären metabolischen Azidose folgt also der Versuch einer Restitution durch eine sekundäre respiratorische Alkalose. CO_2-Druck und Standardbikarbonat sind dadurch erniedrigt, und der pH-Wert ist normal oder ebenfalls erniedrigt, je nach dem Grad der Kompensation.
HASSELBALCH (18) empfahl bereits 1916, die Wasserstoffionenkonzentration unabhängig vom pCO_2 als "reduzierten" oder "nicht-respiratorischen" pH-Wert zu messen. Bei 38° C sollte dazu Vollblut mit 40 mm Hg CO_2-Druck äquilibriert werden. Ähnlich ist heute das Standardbikarbonat definiert: Es ist der Kohlendioxyd-Gehalt im Plasma des mit einem pCO_2 von 40 mm Hg äquilibrierten, total oxygenierten Vollblutes bei 38° C (ASTRUP,3 ; JØRGENSEN und ASTRUP,24). Durch Standardisierung der respiratorischen Komponente des Säure-Basen-Gleichgewichtes kann eine Aussage über die metabolisch verursachte Azidität der extrazellulären Flüssigkeit gemacht werden. An den Standardbikarbonatwerten wird erkennbar, in welchem Maße fixe Säuren im Blut gebunden

worden sind. Das Standardbikarbonat ist jedoch nur ein den HCO_3^- - Puffer kennzeichnender Parameter, der an der Gesamtpufferkapazität des Blutes allenfalls zu 75% beteiligt ist und alle anderen Puffersysteme außer acht läßt (ROTH und ECKOLDT,39).

III. Literaturübersicht

1. Methoden

Analysen des Säure-Basen-Status werfen zugleich auch das Problem der Probenentnahme auf. LITTLEJOHN und MITCHELL (33) suchten beim Pferde nach einer Methode, die bequemer als die Gefäßpunktion ist. Dabei bot sich die Entnahme von Kapillarblut an. Dieses Mischblut war von vielen Autoren im Hinblick auf den pH-Wert, den CO_2-Druck und das Standardbikarbonat dem rein arteriellen Blut gleichgestellt worden. Kapillarblutuntersuchungen waren bislang nur beim Menschen gebräuchlich, der hierfür Voraussetzungen mitbringt, welche dem Pferde weitgehend fehlen. Dazu gehört vor allem die Bereitschaft zur Mitarbeit, um Alarmreaktionen zu vermeiden. Schon aus diesem Grunde war die Kapillarmethode nicht bequemer als die Gefäßpunktion. Der pCO_2 und das Standardbikarbonat wiesen überdies in beiden Blutarten unterschiedliche Höhen auf. Die Autoren erachteten daher die Kapillarmethode nur für die pH-Messung als hinreichend genau. KEUL et al. (28) fanden bei Sportlern und untrainierten Personen im Ruhezustand im venösen Blut der Muskulatur einen geringfügig höheren Standardbikarbonatgehalt als im arteriellen Blut. Die Ursache lag darin, daß bei Normalpersonen in geringem Maße Laktat und Pyruvat, bei Sportlern hingegen geringe Mengen freier Fettsäuren und Pyruvat durch die Skeletmuskulatur extrahiert wurden. Während und nach der Steady-state-Belastung lagen die mittleren Standardbikarbonatwerte des femoralvenösen Blutes geringfügig, aber nicht signifikant tiefer als diejenigen des arteriellen Blutes. Sodann stellt sich die Frage, auf welche Weise die Wasserstoffionenkonzentration am zweckmäßigsten zu ermitteln sei. Für die Messung des pH-Wertes gibt es mehrere Möglichkeiten, die sich in der Bequemlichkeit

der Anwendung und in der Genauigkeit unterscheiden. DE LANNE et al.(9) verglichen bei einer Untersuchung über den Einfluß verschiedener Faktoren auf den Säure-Basen-Haushalt des Menschen auch verschiedene Möglichkeiten, um den pH-Wert zu ermitteln. Einerseits wurde der pH-Wert direkt bei 37° C gemessen, andererseits mit Hilfe eines fixierten CO_2-Druckes und dem gemessenen CO_2-Gehalt nach der Gleichung von HENDERSON - HASSELBALCH errechnet. Zum dritten wurde der pH-Wert indirekt aus der Milchsäurekonzentration ermittelt. Umgekehrt wie VISSER et al. (55), die aus der pH-Zahl und dem pCO_2 das Bikarbonat errechnen und davon auf die Milchsäurekonzentration schließen wollten, nahmen hier die Autoren an, daß bei körperlicher Belastung ein Anstieg der Laktatkonzentration um 6,3 mg% den pH-Wert um 0,01 Einheiten reduziere. In Anbetracht der hervorragenden Rolle der Atmung während und besonders nach der Belastung bevorzugten die Autoren schließlich die direkte pH-Messung, welche auch von uns in Form der Bestimmung des "aktuellen pH-Wertes" angewendet wurde.

Weiterhin muß erörtert werden, nach welchen Methoden das Standardbikarbonat ermittelt werden kann. Außer der von uns angewendeten VAN SLYKE-Methode gibt es noch andere Möglichkeiten. So verglichen SCHWAB und WISSER (45) verschiedene Verfahren zur Bestimmung des Standardbikarbonats beim Menschen im Hinblick auf ihre Brauchbarkeit für klinische Routineuntersuchungen. Erfaßt wurden fünf Verfahren zur Ermittlung des Standardbikarbonatwertes im Plasma, wovon die ersten vier eine Äquilibrierung mit einem Sauerstoff-Kohlendioxyd-Gemisch voraussetzen. Im einzelnen handelte es sich um

1. die VAN SLYKE-Analyse von Blutplasma,
2. die VAN SLYKE-Analyse von Vollblut und anschließender Umrechnung des Meßwertes auf Plasma,
3. die Errechnung des Standardbikarbonatwertes aus dem bekannten pCO_2 des Äquilibrierungsgemisches und dem gemessenen pH-Wert mit Hilfe der Gleichung nach HENDERSON-HASSELBALCH,

4. die Titrationsmethode nach JOVY (25)
5. die Ermittlung des Standardbikarbonats mit Hilfe des Nomogramms nach HENDERSON, wobei der CO_2-Druck bekannt ist und das Hämoglobin gemessen werden muß.

Die VAN SLYKE-Methode wurde als die genaueste und damit maßgebende angesehen. Als Nachteil betrachteten die Autoren den Aufwand an Zeit und Blutmenge. Die Titrationsergebnisse kamen den VAN SLYKE-Werten am nächsten.Die Bestimmung des Standardbikarbonats mit Hilfe der pH-Zahl muß schon kritischer beurteilt werden, obgleich nach diesem Verfahren oft gearbeitet wird. An die Genauigkeit der pH-Messung werden nämlich hohe Anforderungen gestellt. Mißt man z.B. die Wasserstoffionenkonzentration um 0,03 Einheiten zu sauer, findet man bereits einen um 1,5 mÄq./l zu niedrigen Bikarbonatwert. Solche Fehlmessungen können nach Ansicht der Autoren besonders bei kombinierten Glaselektroden vorkommen. Auch bei der ASTRUP-SCHRØDER-Elektrode muß man mit solchen Abweichungen rechnen.

Für die vorliegende Untersuchung wurde die manometrische Methode zur Bestimmung des CO_2-Gehaltes im Blut angewendet, die zuerst von VAN SLYKE und CULLEN (52) im Jahre 1917 als Arbeitsvorschrift angegeben worden war. VAN SLYKE und NEILL (53) haben 1924 das Verfahren ausführlicher beschrieben und auch den Anwendungsbereich erörtert. Schließlich haben VAN SLYKE und PETERS (54) im Jahre 1934 den manometrischen Apparat verbessert und erneut beschrieben.
Unmittelbar vor der Analyse muß das Blut mit einem definierten Sauerstoff- und Kohlendioxyddruck ins Gleichgewicht gesetzt werden. Dazu ist das von LAUÉ (31) entwickelte Tonometer verwendet worden. Nach LAUÉ genügt eine siebenminütige Äquilibrierung des Vollblutes. ASTRUP (3) empfahl 20 - 30 Minuten. Außerdem hielt er die Zugabe einer Silikonölemulsion für notwendig, um eine Schaumbildung und eine Hämolyse während des Begasens

zu vermeiden. MAACK (35) äquilibrierte Rinderblut sechs Minuten lang.
Verschiedene Autoren empfahlen, das Blut bei einer Temperatur von 37° C zu äquilibrieren (KEUL et al.,28; SCHWAB und WISSER, 45 ; KEIDEL, 27; REIN und SCHNEIDER, 38). SCHWAB und WISSER, die bei 37°C äquilibriert hatten, erhielten beim Menschen in Ruhe einen mittleren Standardbikarbonatwert von 24,5 mÄq./l, welcher um 2,8 mÄq./l über einem entsprechenden Wert von JØRGENSEN und ASTRUP lag, die mit einer Begasungstemperatur von 38° C gearbeitet hatten und 21,7 mÄq./l erhielten. Auf 37° C umgerechnet, erhöht sich der letztere Wert um 1,2 mÄq./l. Die noch verbleibende Differenz gegenüber dem Wert von SCHWAB und WISSER wurde mit einer Laktatanhäufung infolge Stauung der Vene bei der Blutentnahme erklärt. ASTRUP (3), der ja die Definition des "Standardbikarbonats" eingeführt hatte, legte die Äquilibrierungstemperatur mit 38°C fest. Diese Temperatur entspricht auch der normalen Körpertemperatur des erwachsenen Pferdes, welche etwa 38° C (DUKES,12 : 37,7° C; KOLB,26 : 37,8° C; SCHEUNERT und TRAUTMANN,43 : 38,0° C) betragen soll.
Neben der Äquilibrierungszeit und der Temperatur sind die Partialdrucke für Sauerstoff und Kohlendioxyd für das Tonometrieren von großer Wichtigkeit. ASTRUP (3) hat den pCO_2 für die Bestimmung des Standardbikarbonats zwar mit 40 mm Hg festgelegt, aber LITTLEJOHN (32) hielt diesen Druck nur für den Menschen geeignet und in Bezug auf das Pferd für zu niedrig. Er empfahl vielmehr, das Vollblut des Pferdes mit einem pCO_2 von 44 mm Hg zu äquilibrieren. Entsprechend sind die von LITTLEJOHN ermittelten Ruhewerte relativ hoch. Andererseits empfahlen SCHWAB und WISSER (45) zur vollständigen Oxygenierung des Blutes einen Sauerstoff-Partialdruck von 180 mm Hg.

Die Milchsäurekonzentration im Blut kann ebenfalls nach verschiedenen Methoden ermittelt werden. In dieser Untersuchung ist sie enzymatisch mit Hilfe der Lactatdehydrogenase nach GERCKEN (16) bestimmt worden. VISSER et al. (55) meinten, daß im Gegensatz zu in-vitro-Versuchen Milchsäurebestimmungen in vivo überflüssig wären, weil man aus der gemessenen pH-Zahl und dem pCO_2 indirekt über das daraus berechnete Bikarbonat auf den Anstieg der Milchsäure schließen könne.

Vor Beginn der eigentlichen Analyse auf Standardbikarbonat wird das Blut meist eine Zeit lang aufbewahrt und unmittelbar vorher tonometriert. Beim Aufbewahren des Blutes, bei der Zugabe konservierender Substanzen und beim Entnehmen des äquilibrierten Blutes aus dem Begasungskölbchen ist darauf zu achten, daß sich der ursprüngliche Zustand nicht ändert. SIGGAARD-ANDERSEN (47) hat hierzu vergleichende Untersuchungen angestellt. Danach ergeben sich Fehler in erster Linie durch Aussetzen des Blutes an der Luft, durch längere Aufbewahrung und durch Verdünnung infolge des Zusatzes von Antikoagulantien und Glykolysehemmern. Beim Aufziehen des Blutes in die OSTWALD-Pipette nach dem Tonometrieren wird das Blut für kurze Zeit der Luft ausgesetzt. Den dadurch eintretenden Verlust an Kohlendioxyd beschrieb SIGGAARD-ANDERSEN jedoch als einen langsamen Prozeß, der keine praktische Bedeutung hat. Auch der Verdünnungseffekt durch die genannten Zusätze ist nach Meinung des Autors gering. Bei größerer Verdünnung falle der pCO_2 ab. Im Hinblick auf das Heparinisieren, mit dem die Blutgerinnung verhindert werden soll, wies der Autor auf frühere Untersuchungen von YOSHIMURA (1935) und SEVERINGHAUS et al. (1956) hin, nach denen eine Konzentration von 1 mg Heparin/ml Blut unbedeutend für den Säure-Basen-Status des Blutes sei. Bei der Aufbewahrung des Blutes stellte SIGGAARD-ANDERSEN selb-

ständige pH-Verschiebungen bei 38° C um 0,012 Einheiten in der Stunde fest.Im Gesamtblut sind diese Veränderungen kleiner als im Plasma, weil die Pufferungskapazität größer ist. Bei einer Kühlung zwischen 0° C und + 4° C kann ein Abfall des pH-Wertes drei Stunden lang verhindert werden.Durch das Kühlen selbst sollen keine irreversiblen Veränderungen hervorgerufen werden. Natriumfluorid, als Glykolysehemmer zugegeben, bewirkt bei 22° - 24° C in einer Konzentration von 1 mg/ml Blut innerhalb von drei Stunden Schwankungen der pH-Zahl zwischen + 0,006 und - 0,014 und des Standardbikarbonats zwischen - 0,2 und - 1,0 mÄq./l. Natriumfluorid verhindere nicht die Säurebildung anderer als glykolytischer Genese.
MAACK (35) verwendete zur Gerinnungs- und Glykolysehemmung eine Mischung aus einer 5%igen Heparin - und einer 10%igen Natriumfluoridlösung zu gleichen Teilen und zog davon 0,15 ml in eine 10 cm^3 - Rekordspritze auf.

2. Befunde

(CO_2-Gehalt, Standardbikarbonat, pH-Wert und Laktat beim Pferde in Ruhe und nach Belastung)

Die von VAN SLYKE eingeführte "Alkalireserve im klinischen Sinne", welche dem aktuellen Bikarbonatgehalt entspricht, ist heute veraltet. Sie ist durch das "Standardbikarbonat" ersetzt worden, das Auskunft über metabolische Störungen im Säure-Basen-Haushalt gibt, weil die respiratorische Komponente standardisiert ist. Ältere Angaben über die Alkalireserve brauchen nicht dem Standardbikarbonat zu entsprechen. Hinsichtlich der Änderungen des Säure-Basen-Gleichgewichtes geben sie jedoch nach wie vor wertvolle Hinweise. Die Alkalireserve wurde früher in Vol% angegeben. Diese Dimension ist nach PETERS und VAN SLYKE (54) in mÄq./l umrechenbar, wobei 1 Vol% CO_2 0,449 mÄq./l entspricht. Auch bei modernen Autoren findet sich gelegentlich die Dimension Vol%. Solche Werte sind hier nachträglich in mÄq./l umgerechnet worden.
Die Ruhewerte für das Standardbikarbonat, die verschiedene Autoren für das Pferd angegeben haben, unterscheiden sich etwas voneinander.
IJICHI (23) gab den "CO_2-Gehalt" für Pferde in Ruhe mit 28,1 mÄq./l an, wobei er einen physiologischen Schwankungsbereich zwischen 24 und 32 mÄq./l annahm.
LUY und KÖSER (34) verglichen bei Trakehner-Fohlen verschiedener Altersklassen in Ruhe die Alkalireserve des durch Zentrifugieren gewonnenen Blutserums, konnten aber keine signifikanten Unterschiede der jeweiligen Mittelwerte feststellen. Ebensowenig zeigten sich Geschlechtsunterschiede. Bei den untersuchten Saug- und Absatzfohlen, Jährlingen und zweijährigen Fohlen fanden die Autoren Mittelwerte zwischen 58,4 Vol% (= 26,22 mÄq./l) und 60,2 Vol% (= 27,03 mÄq./l). Der Mittelwert aller Tiere betrug 59,4 Vol% (= 26,67 mÄq./l).

LITTLEJOHN (32) verglich bei 14 Vollblutpferden den CO_2-Partialdruck der nur selten untersuchten Alveolarluft mit jenem des arteriellen Blutes. In beiden Medien war der pCO_2 gleich. Der Autor arbeitete zur Ermittlung des Standardbikarbonats nicht mit einem pCO_2 von 40 , sondern von 44 mm Hg, weil ihm dieser als der mittlere pCO_2 in der Alveolarluft des Pferdes erschien.Das nach der Gleichung von HENDERSON - HASSELBALCH errechnete Standardbikarbonat in Ruhe lag mit 28,5 mÄq./l Plasma auch relativ hoch.
DE MOOR (10) ermittelte bei einer Untersuchung über den Einfluß von Atropin auf die arterielle Sauerstoffspannung , das Säure-Basen-Gleichgewicht und die Gewebshypoxie bei Warmblutpferden auch die jeweiligen Werte "vor der Atropingabe", welche den Ruhewerten entsprechen dürften. Es wurde jedoch nicht nach VAN SLYKE, sondern nach der ASTRUP-Mikromethode auf Standardbikarbonat analysiert. In Ruhe ermittelte DE MOOR bei 19 Tieren einen mittleren Standardbikarbonatgehalt von 26,589 mÄq./l und einen mittleren pH-Wert von 7,415, der mittels der Mikrodiffusionsanalyse nach CONWAY (1957) gemessen wurde. An 17 Pferden stellte der Autor einen mittleren Laktatgehalt von 23,576 mg% fest.
TEVIK (51) stellte in Ruhe den pH-Wert und das Standardbikarbonat bei einer Untersuchung der Wirkung von Narkosegasen auf den Säure-Basen-Haushalt bei 12 Pferden fest. Nach der Methode von ASTRUP unter Verwendung des Nomogramms von SIGGAARD-ANDERSEN fand er im arteriellen Blut vor der Narkose mit Chloroform für pH und Standardbikarbonat 7,386 bzw. 24,6 mÄq./l, vor den Versuchen mit Halothan 7,394 bzw. 22,5 mÄq./l Blut. Für das venöse Blut lauteten seine Werte entsprechend 7,385 bzw. 24,6 mÄq./l und 7,378 bzw. 22,7 mÄq./l.

HAUSER-HÜRLIMANN (19) bestimmte bei verschiedenen Tieren Normalwerte für das Standardbikarbonat mittels der elektrometrischen Methode nach ASTRUP unter Verwendung des Nomogramms von SIGGAARD-ANDERSEN und ENGEL. Bei 81 Pferden wurde für das Standardbikarbonat ein mittlerer Normalwert von 26,561 mÄq./l festgestellt. Der aktuelle pH-Wert betrug im Mittel 7,3982.

SCHEUNERT und MÜLLER (41) beobachteten bei Jagdpferden den Einfluß von Bewegung und sportlicher Höchstleistung auf die Alkalireserve. Die Pferde absolvierten einen Jagdritt von mehreren Kilometern über natürliche und künstliche Hindernisse. Quantitativ war die Arbeitsbelastung recht unterschiedlich. Das CO_2-Bindungsvermögen wurde als die Menge CO_2 angegeben, welche - reduziert auf 760 mm Hg und 0^oC - in 100 ml Plasma als Bikarbonat gebunden ist.Sie wurde nach dem Verfahren von VAN SLYKE bestimmt. In Ruhe betrug das Bikarbonat 52 - 72 Vol% (= 23,3 - 32,3 mÄq./l). Die starke Arbeitsleistung ließ die Alkalireserve erheblich absinken. Es wurden Werte zwischen 28 und 48 Vol% (= 12,6 - 21,6 mÄq./l) beobachtet. Nach dem Rennen leisteten die Pferde in Form eines 5 km langen Rückmarsches zum Stall weiterhin Arbeit. Dennoch war bereits bei der Ankunft im Stall die Alkalireserve wieder auf ihre frühere Höhe angestiegen. Bei manchen Pferden stieg sie sogar noch darüber hinaus. Die Autoren schlossen daraus, daß die regulatorischen Vorgänge im Organismus rasch und wirksam einsetzen.

EFTIMESCU (13) hat sehr vielseitige Forschungen hinsichtlich der Alkalireserve bei Pferden betrieben, wobei er die VAN SLYKE-Methode benutzt hat. Im einzelnen untersuchte er den Einfluß der Rasse, der Farbe, der Fütterung, des Temperaments, der Laktation und der Arbeit auf das Verhalten der Alkalireserve. Zur Verfügung standen ihm 357 Pferde. In Ruhe ermittelte der

Autor bei 228 Tieren mittels Zwei- und Dreifachbestimmung Mittelwerte zwischen 44,4 Vol% (= 19,94 mÄq./l) und 46,0 Vol% (= 20,65 mÄq./l). Bei 54 Pferden ermittelte EFTIMESCU im Mittel 58,8 Vol% (= 26,40 mÄq./l), bei 56 Pferden 62,0 Vol% (= 27,84 mÄq./l) und bei 19 Tieren 63,1 Vol% (= 28,33 mÄq./l). Als obere physiologische Grenze nahm der Autor für gesunde Pferde in Ruhe einen Bikarbonatgehalt von 74,0 Vol% (= 33,23 mÄq./l), als untere Grenze einen solchen von 35,7 Vol% (= 16,03 mÄq./l) an. Die untere physiologische Grenze lag somit noch weit unter jenem Grenzwert von BÖHMER (5), der bei einem Bikarbonatgehalt von unter 53,0 Vol% (= 23,80 mÄq./l) bereits eine Azidose annahm, dabei jedoch die Verhältnisse beim Menschen zugrunde legte.Daß die Gegebenheiten im Hinblick auf die Alkalireserve beim Pferde jedoch andere als beim Menschen sind, hat EFTIMESCU mit über 1000 Analysen an 357 Pferden nachgewiesen. Er betonte nachdrücklich,daß ein unkritischer Vergleich zwischen Mensch und Pferd in dieser Beziehung unangebracht sei.
Bei der Aufschlüsselung der Werte zeigte sich, daß im allgemeinen das Geschlecht einen Einfluß auf das Kohlensäurebindungsvermögen hatte; Hengste besaßen einen höheren Alkalireservegehalt als Wallache und Stuten. Dagegen fand der Autor keine Unterschiede nach Rasse, Alter und Temperament. Auch die Zusammensetzung des Futters soll die Alkalireserve nur geringfügig beeinflussen, wenn sie nicht gerade einseitig sei.Den Einfluß von Arbeit konnte EFTIMESCU nur an 10 Pferden untersuchen. Die Belastung war dabei jedoch nicht genau definiert. Die Pferde arbeiteten den ganzen Tag über beim U-Bahnbau. Im Durchschnitt war die Alkalireserve nach einem Arbeitstag um ca. 2,8 Vol% (= 1,26 mÄq./l) abgefallen. Trainingsforschung konnte EFTIMESCU nicht betreiben.Um

dennoch etwas auf diesem Gebiet beitragen zu können, verglich er die Ruhewerte von 30 jungen Truppenpferden (Remonten), die noch keinen Dienst taten, mit solchen von älteren, die mindestens zwei Jahre im täglichen Dienst standen. Die älteren Tiere wiesen einen etwas höheren Bikarbonatgehalt als die jungen auf. Da es sich bei den beiden Pferdekategorien nicht jeweils um dieselben Tiere handelte, ist die Aussage, daß trainierte Tiere eine höhere Alkalireserve als untrainierte haben, nicht hinreichend gesichert. EFTIMESCU hielt die Alkalireserve für kein konstantes physiologisches Merkmal und empfahl, diese Tatsache bei allen weitergehenden Schlußfolgerungen zu berücksichtigen.

BÖHMER (5) ermittelte nach VAN SLYKE die "Alkalireserve" des Plasmas bei hoch- und mittelgradig erschöpften Pferden. Sie betrug bei ersteren 49,2 Vol% (Schwankung: 41 - 53,8 Vol%), bei letzteren 55,3 Vol% (Schwankung: 51 - 57,5 Vol%). Der Autor nahm an, daß bei Tieren mit einer niedrigeren Alkalireserve in Ruhe als 53,0 Vol% eine Azidose vorliege und bezog sich dabei auf Angaben von VAN SLYKE, der diesen Grenzwert jedoch für den Menschen unterstellte. Bei einer Umrechnung auf mÄq./l erhält man für die hochgradig erschöpften Pferde in Ruhe 22,09 mÄq./l, für die mittelgradig erschöpften 24,83 mÄq./l. Nach BÖHMER läge also bei einem CO_2-Gehalt von weniger als 23,80 mÄq./l eine Azidose vor. EFTIMESCU (13) lehnte allerdings einen Vergleich der Alkalireserve zwischen Mensch und Pferd in dieser Form auf Grund seiner zahlreichen Untersuchungen ab.

GILLESPIE et al. (17) verglichen den Total-CO_2-Gehalt und den pH-Wert im arteriellen Blut von 18 emphysematösen Pferden mit gesunden Kontrolltieren in Ruhe und während der Belastung. Der Total-CO_2-Gehalt umfaßt den aktuellen Bikarbonatgehalt und die physikalisch gebundene CO_2-Menge und wird auch als Gesamt-CO_2 bezeichnet. Nur die Resultate der gesunden Tiere sind hier aufschlußreich.

Die Pferde trabten 20 Minuten lang mit der relativ niedrigen Geschwindigkeit von 190 m/min über eine Meßstrekke. Der pH-Wert wurde für die von DUKES (12) für Pferde angegebene Normaltemperatur von 37,7° C bestimmt.Er betrug vor dem Lauf im Mittel 7,47 , danach 7,48. In der Erholungsphase sank er laufend ab und erreichte eine Stunde nach der Belastung mit 7,43 seinen Tiefpunkt. Nach zwei Stunden hatte sich der pH-Wert wieder fast normalisiert. Der Total-CO_2-Gehalt betrug vor dem Lauf 32,1 mÄq./l, danach 32,0 mÄq./l. In der Erholungsphase setzte ein Abfall ein, der nach einer Stunde mit 30,5 mÄq./l seinen Tiefpunkt erreichte. Danach erfolgte ein rasches Ansteigen und in der 80.Erholungsminute wurde der Ausgangswert um 0,4 mÄq./l übertroffen. Nach zwei Stunden konnte wieder der Ausgangswert gemessen werden.

KRONACHER und HOGREVE (29) bemühten sich, neue Wege zur Beurteilung des Gebrauchs - und Erbwertes landwirtschaftlicher Nutztiere zu finden. Sie untersuchten bei Pferden, in welcher Beziehung physiologische Befunde zu den erzielten Leistungen standen. Um zu beobachten, wie sich der Arbeitsreiz auf die konstitutionell begründete Reaktionsart der Tiere auswirkt, bestimmten die Autoren die Alkalireserve und den pH-Wert vor und nach der Belastung. Weil der Organismus den pH-Wert nach der Belastung konstant zu halten versucht, schien er zur Klärung züchtungsbiologischer Fragen weniger geeignet, wurde aber gleichwohl mitgemessen. In periodischen, systematischen Experimenten an untereinander gut vergleichbaren Tieren wurde während eines halben Jahres der Einfluß des Trainings auf das Verhalten der Alkalireserve untersucht. Für die Ermittlung der pH-Zahl und der Alkalireserve wurde das Blut vorher mit zwei verschiedenen CO_2-Drucken äquilibriert (pCO_2 = 30 bzw. 100 mm Hg). Als Pufferungsausdruck diente die pH- bzw. Alkalireservedifferenz zwischen dem pCO_2 von 30 mm Hg der Messung I und dem pCO_2 von 100 mm Hg der Messung II. Die absoluten Werte

sind für unsere Untersuchung unbrauchbar, wohl aber deren Tendenzen während des Beobachtungszeitraums. Während der ganzen Trainingszeit, besonders jedoch am Schluß, zeigte sich eine Tendenz zum allmählichen Anstieg des pH-Wertes, wobei jedoch der Abfall der pH-Zahl nach einer jeden Arbeit annähernd konstant blieb. Aus letzterer Beobachtung schlossen die Autoren auf eine starke Konstanz der pH-Verhältnisse im Blute. Im Trainingsverlauf bewirkten leichtere Belastungen ein Ansteigen der Alkalireserve, schwerere (75 km - Distanzritt) dagegen ein Absinken derselben. Die Befunde schienen darauf hinzudeuten, daß Arbeit nicht in jedem Falle die Alkalireserve vermindert. Abhängig vom Grad der Arbeitsbelastung und vielleicht auch des Trainings,kann sie gelegentlich sogar gesteigert werden. Daraus folgte, daß die im Training erzielten Resultate unsicher waren. In den meisten Fällen beobachtete man einen Anstieg der Alkalireserve, der aber sofort in ein Absinken umschlug, sobald eine genügend lange und starke Arbeitsbelastung einsetzte.

KRONACHER und HOGREVE (30) setzten ihre 1934 begonnenen Untersuchungen im folgenden Jahre mit anderem Untersuchungsmaterial fort, wobei die früheren Trainingsergebnisse hinsichtlich des Säure-Basen-Status weitgehend bestätigt werden konnten. Dagegen war ein Abfall der Alkalireserve durch die Belastung einer Tagesarbeit nicht, wie vielleicht erwartet, eindeutig und regelmäßig vorhanden. Zu ähnlichen Ergebnissen kam schon SCHÄPER (40) im Jahre 1930. Die Autoren vermuteten, daß die in den meisten Fällen geleistete Arbeit einfach nicht hingereicht habe, um ein Absinken der Alkalireserve zu erzwingen oder daß der geringe Zeitraum zwischen Arbeitsende und Blutentnahme bereits genüge, die Anfangswerte wieder herzustellen. Ähnliche Verhältnisse fanden wir bei unseren Arbeitsbelastungen in der ersten Stufe. Im Hinblick auf die Erholung schlossen

die Autoren aus den Mittelwerten für pH-Zahl und Alkalireserve, daß beide Werte bei geringer Belastung in kürzester Zeit wieder den Ausgangswert erreichen können, jedoch bei höherer Belastung die Alkalireserve dafür eine längere Zeit als die pH-Zahl brauche.

SCHUSTER (44) machte bei über 80 Trabrennpferden mehr als 450 Milchsäureanalysen nach dem Verfahren von COLLATZO. Vor dem Rennen schwankte der Laktatgehalt bei Einzeluntersuchungen zwischen "einzelnen Spuren" und 20 mg%, im Mittel betrug er 12 - 15 mg%. Nach dem Rennen über 1000 m (seltener 2400 oder 3200m) stieg die Milchsäurekonzentration bedeutend an und erreichte im Mittel 70 - 90 mg%. Bei manchen Pferden wurden Werte bis zu 130 - 150 mg% gemessen. Da die Arbeitswerte stark streuten, lag es nahe, sie aufzuschlüsseln und die Pferde danach in Leistungsgruppen einzuteilen. SOLUN (48) teilte Trabrennpferde auf Grund der Alkalireserve und des Laktats in solche Gruppen ein. SCHUSTER benutzte dagegen das Ansteigen des Blutzuckers nach dem Rennen, um die Probanden zu gruppieren. Danach zeigte Gruppe I einen Anstieg des Blutzuckers bis zu 25 mg%, Gruppe II bis zu 45 mg% und Gruppe III über 45 mg%. Bei den Pferden der Gruppe I betrug nach dem Rennen über 1600 m der Verlust der Alkalireserve im Mittel etwa 39 %. Der Autor bezeichnete diesen Verlust und den gleichzeitig erfolgten Anstieg der Milchsäure um 50- 60 mg% als unbedeutend. Unter gleichen Bedingungen fiel bei der Gruppe II die Alkalireserve um etwa 54 % im Mittel ab, die Laktatkonzentration stieg um 60 - 90 - 100 mg%. Die Gruppe III wies außer der bedeutenden Hyperglykämie einen Abfall der Alkalireserve von etwa 70 % auf, die Milchsäure stieg dabei durchschnittlich um 111,6 mg%. Die Pferde dieser Gruppe hatten eine unbeständige Arbeitsweise.Sie hatten das Rennen gut begonnen, wurden aber im Finish kampfunfähig und fielen dabei auf den letzten Platz zurück. Bei gelungenem Rennen näherten sich die betref-

fenden Tiere mit ihren Arbeitswerten denjenigen der Gruppe II an. Die Milchsäurewerte ließen sich im übrigen leicht mit den Blutzucker - und Alkalireserveverschiebungen in Einklang bringen.SCHUSTER konnte über längere Zeit mit den Trabrennpferden günstige Trainingserfolge erzielen, die sich anhand der laufend ermittelten Meßwerte verfolgen ließen. Bei Vollblutpferden, welche Hindernisrennen absolvierten, glichen die Ruhewerte für die Milchsäure denen der Traber. Nach dem Rennen fand der Autor Werte wie bei den Trabergruppen II und III. Er führte das auf die vergleichsweise größere Leistung beim Hindernisrennen und die dabei stärkere Behinderung der Atembewegungen zurück.

SOLUN (48) suchte nach Anhaltspunkten für die Beurteilung von konstitutionellen Unterschieden bei Pferden im Hinblick auf ihre Leistungsfähigkeit bei höchster Kraftanspannung. Dazu untersuchte er zunächst an Orlow-Trabrennpferden vor und nach Belastung den Blutzuckergehalt und die Milchsäurekonzentration (nach COLLATZO) sowie die Alkalireserve mit dem Verfahren nach VAN SLYKE. Zur Formulierung des Leistungswertes wurden neben der erreichten Zeit für das Rennen auch die Rennbahnbeschaffenheit, Wind, Kampfmomente, Plazierung und Zahl der Gangartenwechsel berücksichtigt. Die Renndistanzen betrugen 1600, 2400 und 3200 m. Der Ruhewert für die Milchsäure betrug bei 232 Tieren im Mittel 17,52 mg%. Nach dem Rennen stieg sie auf 92,76 mg% an. Die Arbeitswerte schwankten zwischen 35 und 165 mg% und die Häufigkeitsverteilung zeigte deutlich zwei Gipfel bei 75 und 95 mg%. Die Alkalireserve betrug in Ruhe bei 261 Pferden 57,46 Vol%.Nach dem Rennen fand SOLUN bei 254 Tieren im Mittel eine bedeutende Verringerung der Alkalireserve auf 24,52 Vol%. Bei Umrechnung auf mÄq./l ergeben sich für den Ruhewert 25,8 , für den Arbeitswert 11 mÄq./l. Im Gegensatz zur Milchsäure lagen hier die Werte nach der Belastung enger beieinander. In der Häufigkeitsvertei-

lung bildeten sich auch hier zwei Gipfel heraus (20 und 28 Vol% = 9 bzw. 12,6 mÄq./l). Aus der Ähnlichkeit der Häufigkeitsverteilungen beim Laktat und Standardbikarbonat schloß SOLUN auf das Vorhandensein zweier Gruppen von Pferden unterschiedlicher Konstitution und Leistungsfähigkeit.
Bei Pferden, die Hindernisrennen absolvierten, waren die Resultate jenen der Trabrennpferde ähnlich. Andere Probanden mußten Zugleistungen vollbringen. Im Schrittempo waren die Veränderungen der Milchsäure und des Bikarbonats geringer als bei schnellerer Gangart. SOLUN erklärte diese Unterschiede u. a. mit weniger behinderter Atmung im Schritt. Da die Distanzen, die Zuggewichte und die Art der Zugarbeit unterschiedlich waren, schwankten entsprechend die Arbeitswerte.

SCHÄPER (40) berücksichtigte zwar Ruhe- und Arbeitswerte hinsichtlich pH-Zahl und Alkalireserve nur kurz innerhalb einer umfassenden Untersuchung der Konstitution und Leistung der Haustiere, machte aber wichtige Aussagen über das Säure-Basen-Gleichgewicht der Tiere. Der pH-Wert wurde mit dem Potentiometer nach MISLOWITZER gemessen und ist darum vielleicht mit Zurückhaltung zu beurteilen. Er betrug im Mittel beim Pferd 7,5 . Die Schwankungen sollen hierbei so gering sein, daß sie fast innerhalb der Fehlergrenze liegen, ja SCHÄPER wollte überhaupt für die von ihm untersuchten Tiere - Pferd, Rind, Ziege, Kaninchen, Taube, Maultier - eine gleiche Wasserstoffionenkonzentration annehmen. Während die aktuelle Reaktion des Blutes bei allen Haustieren eine erstaunliche Konstanz aufweise, sei die Variationsbreite und Beeinflußbarkeit der Alkalireserve sehr erheblich. Der Autor wies darauf hin, daß das Verhalten des CO_2-Bindungsvermögens infolge des Verrichtens landwirtschaftlicher Arbeiten "individuell" unterschiedlich sei. Er beobachtete bei Pferden, daß die Alkalireserve nach körperlicher Belastung gleichbleiben, abfallen oder ansteigen könne. SCHÄPER stellte außerdem eine Abhängigkeit der

Alkalireserve in Ruhe von der Tageszeit, vom Alter des Tieres und von dessen Fütterung fest.Eine einseitige Haferfütterung oder die Zufütterung von Grünfutter ließen die Alkalireserve absinken, beim Klee war es umgekehrt. Der Autor bestätigte zwar, daß sich im allgemeinen Alkalireservegehalt und Pufferungskapazität proportional zueinander verhalten, aber nicht in allen Fällen sei mit höherer Alkalireserve auch eine vermehrte Pufferungskapazität verbunden. Er beobachtete bei Fütterungsversuchen, daß die Alkalireserve auf ein Minimum reduziert sein konnte, ohne daß dadurch die Gesamtpufferung ungünstig beeinflußt worden wäre. Der Autor wollte daher den Begriff der "Azidose",der bislang mit Hilfe der Alkalireserve ausgedrückt worden war, durch "Verminderung der Pufferkapazität" ersetzen. Die Gesamtpufferung, die doch ausschlaggebend für die Konstanterhaltung der Reaktion des Blutes ist, kann demnach zunehmen, während ein Teilpuffer, z.B. die Alkalireserve, abnehmen kann. SCHÄPER hielt überdies die Alkalireserve für ein Kriterium der Leistungsfähigkeit des Pferdes. Bei 10 erstklassigen Leistungspferden lag die Alkalireserve "nicht unbedeutend" höher als bei Vergleichstieren, die keinerlei Leistungen aufzuweisen hatten.

EISENBURGER (15) versuchte, Alkalireserve und Heiltendenz nach chirurgischen Eingriffen am Pferde in Beziehung zueinander zu setzen. Im Gesamtverlauf des Heilprozesses war im Verhalten der Alkalireserve, die nach VAN SLYKE bestimmt wurde, jedoch keine Regelmäßigkeit festzustellen. Die Werte zeigten unregelmäßige Schwankungen, wobei der tiefste in der Heilphase ermittelte Gehalt der Alkalireserve 55 Vol% (= 24,7 mÄq./l), der höchste 74 Vol% (= 33,2 mÄq./l) betrug. Der Autor betonte,daß alle diese Werte innerhalb der physiologischen Schwankungsbreite liegen.

BOLZ und BIENIEK (8) führten Lungenfunktionsprüfungen an 12 Pferden mit chronisch-alveolärem Lungenemphysem durch und bestimmten zur Erkennung von Störungen im Säure-Basen-Haushalt des venösen Blutes die pH-Zahl, den CO_2-Druck, das aktuelle Bikarbonat, den Gesamt-CO_2-Gehalt und das Standardbikarbonat. Durch Erschwerung der CO_2-Abgabe kam es bei den Tieren zu einer primären respiratorischen Azidose, wobei der pCO_2 erhöht war. Das Standardbikarbonat war erhöht oder erniedrigt und der pH-Wert gesunken oder normal, je nach Kompensationsgrad. Letzterer wurde im Mittel mit 7,349 bei einer Schwankung zwischen 7,31 und 7,42 gemessen. Der erhöhte pCO_2 betrug im Durchschnitt 49,88 mm Hg und schwankte zwischen 41,05 und 69 mm Hg. Das Standardbikarbonat schwankte zwischen 18,56 und 33,36 mÄq./l bei einem Mittelwert von 23,66 mÄq./l

BOGDANOW et al. (6) analysierten besonders die Erholungsperiode von 47 Pferden, die Rennen über 1600 m liefen. Sie ermittelten in Ruhe einen durchschnittlichen Laktatgehalt von 11,17 mg%. Während und nach dem Rennen stieg die Milchsäurekonzentration erheblich an, in einzelnen Fällen in der 3. Erholungsminute auf 170 - 180 mg%, im Mittel auf 88,45 mg%. Obgleich die Pferde den Überschuß an Milchsäure schnell aus dem Blut beseitigen konnten, stieg dieselbe 10 Minuten nach Rennabschluß auf 93,97 mg% im Mittel an. Nach 20 Minuten sank sie bereits auf 50,2 mg%, nach 40 Minuten auf 38,75 mg%. Auf Grund der Dynamik der Konzentrationsänderungen der Milchsäure während der Erholungsphase schlossen die Autoren auf eine bedeutende Acidämie infolge erheblicher Muskelbelastungen. Die Erschöpfung der Alkalireserve ging parallel mit der Milchsäureanhäufung einher. In Ruhe stellten die Autoren eine Alkalireserve von durchschnittlich 58,6 Vol% (= 26,3 mÄq./l) fest,die zwischen 52 und 66 Vol% (= 23,3 bzw. 29,6 mÄq./l)

schwankte.Drei Minuten nach Rennabschluß stellten die Autoren eine "kolossale Senkung" der Alkalireserve fest, die im Mittel nun 22,9 Vol% (= 10,3 mÄq./l) betrug. Auf dieser Höhe verharrte das Bikarbonat noch 10 Minuten weiterer Erholung. Weiterhin verlief der Wiederherstellungsprozeß analog zum Laktatabbau,jedoch etwas langsamer. Nach 40 Minuten wurden wieder 39,6 Vol% (= 17,8 mÄq./l) gemessen. Anhand der Geschwindigkeit, mit welcher die Restitutionsprozesse des Säure-Basen-Haushaltes abliefen, wollten die Autoren zu einer physiologisch fundierten Diagnose des allgemeinen Konditions- und Konstitutionszustandes der Probanden gelangen.

DUKES ($_{12}$) fand beim ruhenden Pferde Milchsäurekonzentrationen zwischen 10 und 16 mg%.

BOHN (7) untersuchte an 5 Pferden die Laktatkonzentrationen des jugularvenösen Blutes in Ruhe und nach der Bewegung. Die Ruhewerte betrugen im Mittel 8,97 mg% und schwankten zwischen 7,75 und 10,46 mg%. Zur körperlichen Belastung wurden die Pferde im Trab, seltener in Galopp, longiert. Die Laufgeschwindigkeiten betrugen zwischen 180 und 320 m/min. In den ersten 10-20 Minuten der Arbeit wurde ein Absinken des Laktatgehaltes um durchschnittlich 1,94 mg% unter den Ausgangswert beobachtet. Danach blieb die Höhe der Milchsäurekonzentration für 20 Minuten konstant, stieg dann aber an, obgleich die Arbeitsbelastungen gleich geblieben waren. Als Ursache des Absinkens der Milchsäure vermutete BOHN, daß bei Beginn einer leichten Arbeit durch gesteigerte Durchblutung der Extremitäten und damit verbesserte Sauerstoffversorgung der Muskulatur weniger Milchsäure entstehen konnte und andererseits mehr Laktat von den milchsäureutilisierenden Organen aufgenommen wurde. Bei stärkerer Belastung war der initiale Laktatabfall geringer und es stellte sich ein der Leistung entsprechendes Konzentrationsniveau ein.

WITTKE und BOHN (57) überprüften die allgemeine Auffassung, wonach die Milchsäure bei Muskelarbeit stets ansteigen soll und verwiesen auf Literaturangaben,die von einem Abfall der Milchsäure unter bestimmten Arbeitsbedingungen sprachen. Untersucht wurden Pferde, welche longiert oder vor einen Wagen gespannt wurden. Blutentnahmen erfolgten 4 Minuten nach Arbeitsbeginn und dann in Intervallen von 4 Minuten bis 2 Stunden nach Versuchsende. Die Konzentration der Milchsäure im Blut der ruhenden Pferde betrug im Mittel 8,9 mg%. Nach Beginn der Bewegung nahm sie regelmäßig ab, um später entweder das Ausgangsniveau wieder zu erreichen oder bei anhaltender Arbeit darüber hinauszugehen.

KRZYWANEK und WITTKE (58) verglichen neben anderen Größen auch den Milchsäuregehalt bei Vollblutpferden in Perioden unterschiedlicher Trainingsintensität "vor" und "nach" der Arbeit. Die Experimente wurden zu Beginn der Rennsaison, in der Hochsaison und in der trainingsarmen Zeit vorgenommen. Dazu wurde das Blut aus der Vena jugularis entnommen. Zur Belastung mußten die Tiere nach 10-15 minütigem "Warmlaufen" 1000 bis 2400 m auf der Rennstrecke galoppieren, wobei die Leistungen jedoch unterschiedlich waren. In allen Trainingsperioden unterschieden sich die Ruhewerte - etwa 0,4 mÄq./l - nicht signifikant voneinander. Die Arbeitswerte schwankten je nach Belastung zwischen 0,3 und 21,38 mÄq./l. Meistens hatten sich die Laktatkonzentrationen verdoppelt bis verfünffacht. Galopps mit eingelegten Sprints ließen die Milchsäure jedoch auf das 40-50 - fache des mittleren Ruhewertes ansteigen.

IV. Eigene Versuche

1. Versuchstiere und Methode

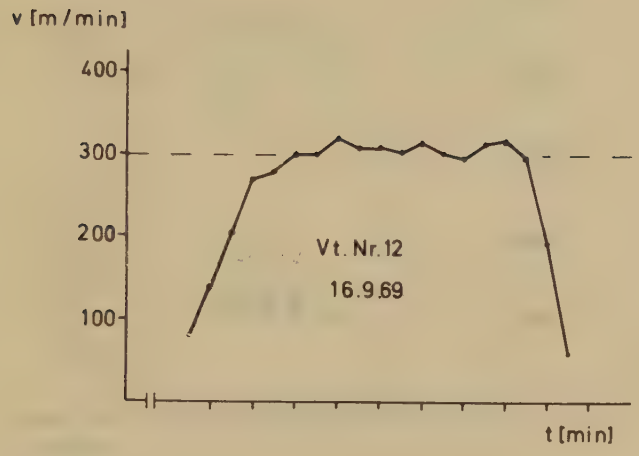
Die Versuche fanden von September bis Dezember 1969 auf der Trabrennbahn in Berlin-Mariendorf statt. Dazu standen uns 27 Trabrennpferde im Alter von 2 bis 10 Jahren zur Verfügung (9 Hengste, 6 Wallache und 12 Stuten).
Die körperliche Belastung wurde durch drei Geschwindigkeitsstufen festgelegt. Alter und Geschlecht der Tiere sowie klimatische Veränderungen während der Versuche blieben bei der Auswertung unserer Meßergebnisse unberücksichtigt. Im allgemeinen wurden die Experimente jedoch nur bei trockenem Wetter durchgeführt.
Vor der Belastung erfolgte eine Blutentnahme noch in der Box im Beisein des Pflegers oder Fahrers, um Beunruhigungen des Tieres durch Fremde möglichst auszuschalten. Nach Beendigung des Laufes wurde das Pferd sofort und schnell von der Bahn zum Stallgebäude gefahren, so daß zwischen Ende der Belastung und der zweiten Blutentnahme höchstens zwei Minuten verstrichen.
Das Blut wurde aus der ungestauten Vena jugularis in Spritzen gezogen, die zur Koagulations - und Glykolysehemmung mit Liquemin heparinisiert und mit Natriumfluorid beschickt worden waren.
Noch im Stallgebäude selbst bestimmten wir mit einer Mikro-pH-Elektrode (ESCHWEILER) den aktuellen pH-Wert. Zur späteren Analyse auf Standardbikarbonat wurden die Spritzen eisgekühlt in das Institut verbracht. Bis zu Beginn der VAN SLYKE-Analyse lagerten sie noch maximal drei Stunden bei + 4° C im Kühlschrank.
Vor der Analyse auf Hydrogenkarbonat wurde das Vollblut zunächst im LAUÉ-Tonometer (31) mit einem Sauerstoff-Kohlendioxyd-Gemisch 15 Minuten lang bei 38° C äquili-

briert, wobei das Hämoglobin vollständig oxygeniert und der pCO_2 auf 40 mm Hg eingestellt wurde.
Das zum Tonometrieren verwendete Gasgemisch war zuvor im SCHOLANDER-Apparat analysiert worden. Es enthielt 5,62 Vol% CO_2 und 27,62 Vol% O_2 , der Rest war Stickstoff. Der für die Oxygenierung wirksame Sauerstoff betrug demnach etwa 195 mm Hg und schwankte, ebenso wie der pCO_2 , je nach Luftdruck um ein Geringes. Letzterer wurde vor jeder Analyse am Barometer abgelesen und bei den späteren Berechnungen berücksichtigt. Vor dem eigentlichen Äquilibrieren des Blutes ist auch das zur Befeuchtung des Gasgemisches erforderliche Wasser im Tonometer zwei Stunden lang äquilibriert worden.
Mit Hilfe des Apparates von VAN SLYKE (53 , 54) wurden Sauerstoff und Kohlendioxyd manometrisch bestimmt. Es erfolgte stets eine Zweifach - und im Zweifelsfalle eine Dreifachbestimmung. Der erhaltene Meßwert enthielt nicht nur die chemisch gebundenen CO_2-Menge (HCO_3^-), sondern auch das physikalisch gelöste Kohlendioxyd(CO_2). Um das Hydrogenkarbonat zu erhalten, wurde letzteres vom Summenwert abgezogen. Die aus dem Vollblut erhaltenen Werte wurden hernach gemäß dem Vorgehen von PETERS und VAN SLYKE (54) auf Plasma umgerechnet.
Zur Bestimmung des Laktatgehaltes wurde das Blut in eingewogene und gekühlte Perchlorsäure gegeben, das Gemisch geschüttelt und zentrifugiert, der Überstand abgehoben, gewogen und bis zur späteren Analyse im Gefrierschrank bei - 20° C aufbewahrt.Die Eingabe des Blutes in die Perchlorsäure und das Schütteln des Gemisches erfolgte noch im Stallgebäude. Die L(+)-Milchsäure wurde nach GERCKEN (16) im Halbmikroverfahren enzymatisch mit Hilfe von Lactatdehydrogenase mit dem EPPENDORF-Photometer durch Messung der DPNH-Absorption bestimmt.
Als Leistungsindex haben wir die Laufgeschwindigkeit benutzt. Sie wurde nach einer Methode von BAYER (4) registriert: An die Speiche eines Wagenrades war ein

Drahtpinsel montiert worden, welcher bei jeder Radumdrehung über einen Kontakt strich, so daß kurzzeitig ein Stromkreis geschlossen wurde. Der so bei jeder Berührung ausgelöste Impuls wurde auf Magnetband registriert. Aus bekanntem Radumfang und der Anzahl der Umdrehungen pro Zeiteinheit konnte bei späterer Auswertung die Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt der Belastung bestimmt werden. Für die Aufzeichnung von Verlaufsdiagrammen wurde die Geschwindigkeit in Intervallen von 30 Sekunden festgestellt.
Die Fahrer bemühten sich um die Einhaltung einer konstanten Geschwindigkeit. Die Pferde legten bei jeder Belastung eine Distanz von zwei Bahnrunden (2400 m) zurück. Sie liefen stets in den frühen Morgenstunden ohne Begleitung anderer Pferde. Regnerische Tage wurden fast immer ausgelassen. Somit war die Bahn (Sandboden) stets in einem für unsere Experimente hinreichend guten Zustand. Als Belastungsstufen wählten wir folgende Geschwindigkeiten:

Stufe I	300	m/min
Stufe II	450	m/min
Stufe III	600	m/min

Stufe III wurde erst nach einer Runde langsamen "Warmtrabens" erreicht, ging dann aber auch wie die anderen beiden Stufen über zwei Runden.
Aus der Vielzahl der Geschwindigkeitsregistrierungen seien für jede Stufe zwei typische Verläufe wiedergegeben:



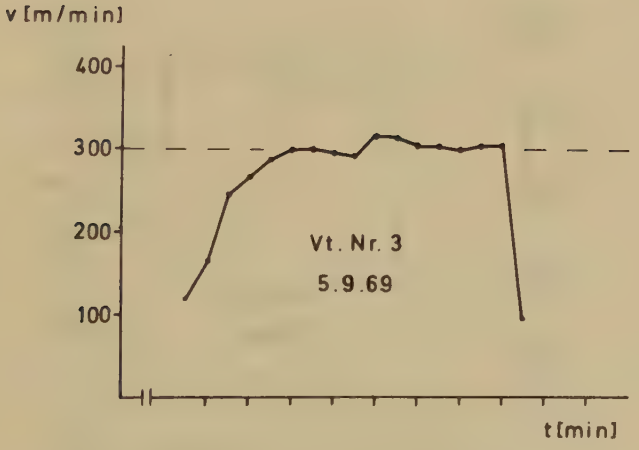
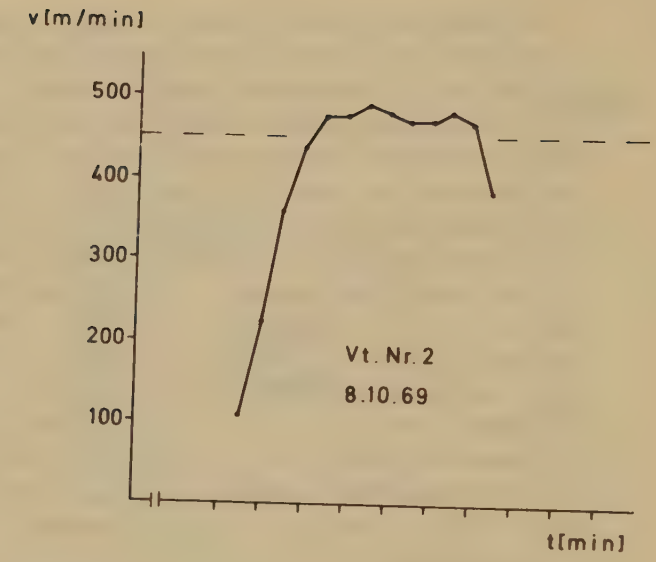


Abb. 1

Stufe I
Verlauf der Geschwindigkeit (2 Beispiele)
(Abstand der Zeitmarken auf der Abszisse: 1 Min.)



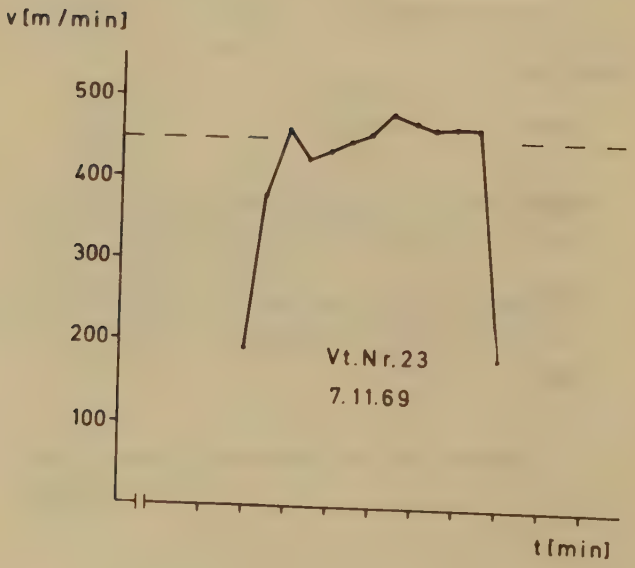
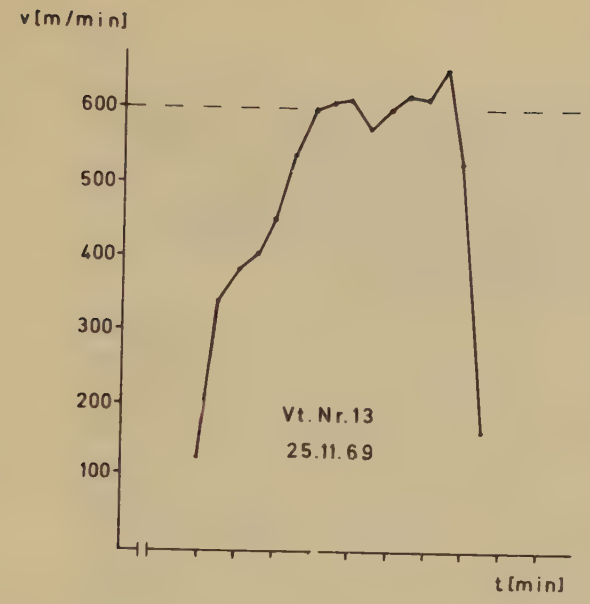


Abb. 2

Stufe II

Verlauf der Geschwindigkeit (2 Beispiele)

(Abstand der Zeitmarken auf der Abszisse: 1 Min.)



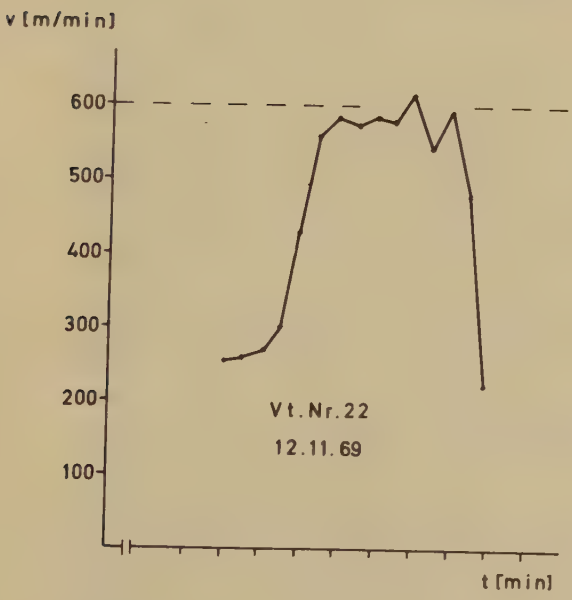


Abb. 3

Stufe III
Verlauf der Geschwindigkeit (2 Beispiele)
(Abstand der Zeitmarken auf der Abszisse: 1 Min.)

Aus den Einzelwerten der Meßgrößen wurden für jeden Zustand (Ruhe und Belastung I, II, III) die Mittelwerte ($\bar{x}$) und ihre Standardabweichung (s) berechnet. Die Prüfung der Resultate zweier Meßreihen auf signifikante Differenz erfolgte nach dem t-Test von STUDENT-FISHER (50).

2. Kritik der Methode

Unsere Tests basieren auf der Untersuchung des Blutes, das beim Durchströmen der arbeitenden Muskulatur nachhaltig verändert wird. Im Idealfalle müßte man Blutproben aus der abführenden Vene des jeweils beanspruchten Muskels entnehmen. Das wären beim Pferde die Abflüsse aus der Vorder- und Hinterextremität, also die Vena axillaris und die Vena femoralis. Dieses Blut gäbe eine Information über die örtliche Säurebildung der Tätigkeitsmuskulatur, die vielleicht für einen direkten Vergleich der Pferde untereinander besonders geeignet wäre. Einen Mittelwert über alle Organe würde man im venösen Mischblut des rechten Herzens erhalten, wozu jedoch die Kathetertechnik angewendet werden müßte. Bei den Rennpferden waren wir jedoch auf eine Blutentnahme aus der Vena jugularis angewiesen, also auf Blut, das aus dem Kopfgebiet zum Herzen zurückfließt.
Für die Bestimmung des aktuellen pH-Wertes ist die zwischen dem Ende der Belastung und der Messung vergehende Zeit von Belang. Wir nehmen jedoch an, daß sie mit maximal zwei Minuten nicht ausgereicht hat, um insbesondere nach hoher Leistung eine metabolische Azidose respiratorisch nennenswert zu kompensieren.

Um den Kohlendioxydgehalt des Blutes zu ermitteln, stellt das manometrische Verfahren nach VAN SLYKE die genaueste Methode dar. Im Gegensatz zu anderen Verfahren erfordert diese Technik eine längere Einarbeitungszeit. Subjektive Fehler können daher erhalten bleiben, gehen jedoch im allgemeinen gleichsinnig in die Resultate ein.
Die Genauigkeit der Blutgasanalyse auf CO_2 soll zwar nach VAN SLYKE und PETERS (54) $\pm$ 0,1 Vol% betragen, wird aber praktisch kaum erreicht. Dennoch erbringt diese Methode die höchstmögliche Präzision. Die ein-

zelne Analyse dauert zwar relativ lange und die erforderliche Blutmenge ist verhältnismäßig hoch - für die Analyse selbst genügt 1 ml, man muß jedoch 2 ml Blut äquilibrieren, um die OSTWALD-Pipette luftblasenfrei füllen zu können - aber diese Nachteile,welche sich bei längeren Versuchsreihen erschwerend bemerkbar machen würden, sind hier zugunsten der Genauigkeit in Kauf genommen worden.

Abgesehen von der Analysenmethode hat es jedoch im Hinblick auf die Versuchsanordnung und die Versuchsobjekte zahlreiche, nur schwer zu standardisierende Variable gegeben. Das trifft z.B. auf die jeweilige Verfassung des Versuchspferdes, auf Fahrer und Wagen, auf Klima und Bahnverhältnisse zu. Da der Autor den Trabrennwagen (Longshaft) nicht selbst fahren konnte, war er auf das Geschick anderer angewiesen. Die Hauptschwierigkeit für den Fahrer bestand darin, die für die vorgesehene Belastungsstufe vorgeschriebene Geschwindigkeit konstant zu halten. Die aus den Verlaufsdiagrammen ersichtlichen Schwankungen, welche sich freilich in Grenzen hielten, waren unvermeidlich. Ohne Zweifel wirken sich Erfahrung und persönliches Temperament auf die Fahrweise aus, die ihrerseits die Bewegungsökonomie des Pferdes und damit seinen Energieaufwand beeinflussen dürfte. Hierher gehört auch die richtige Einstellung des Fahrers zu seinem Pferd und eine Kenntnis seiner Eigenarten, wie überhaupt ein wechselseitiges Einverständnis bestehen sollte, ohne das die Versuche gestört wären.

Von Einfluß auf die Befunde sind sicherlich auch die Tageszeit und Klimafaktoren. Durch Einhaltung einer bestimmten Uhrzeit für die Versuche wurden tageszeitlich bedingte Schwankungen nach Möglichkeit vermieden. DE LANNE et al. (9)haben bei der körperlichen Belastung von Menschen bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen Schwankungen hinsichtlich des Säure-Basen-Haushaltes

festgestellt. Wie sich Schwankungen der Jahreszeit, der Außentemperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Windgeschwindigkeiten auf die Leistungsfähigkeit der Rennpferde auswirken, ist nicht bekannt.Wir haben diese Einflüsse bei der Auswertung unberücksichtigt lassen müssen, obgleich sie vielleicht die Resultate beeinflußt haben können. In enger Beziehung zum Klima steht die Bodenbeschaffenheit, die wahrscheinlich von erheblichem Einfluß auf den Energieaufwand des Trabers ist. Ein aufgeweichter Boden beansprucht das Pferd mehr als ein fester.
Abgesehen von Alter und Geschlecht erstreckte sich die Inhomogenität unserer Versuchsgruppe sicherlich auch auf die einzelnen Versuchsobjekte selbst, da die Einzeltiere eine unterschiedliche Kondition und Konstitution aufwiesen.
Die Konstitution als die jedem Individuum eigene, in der Anlage ererbte, durch Umwelteinwirkungen beeinflußte Körperverfassung und die daraus sich für jedes Tier ergebende Widerstandskraft gegenüber Leistungsanforderungen und sonstigen Umwelteinflüssen (Definition der Arbeitsgemeinschaft der Tierärzte und Tierzüchter) ist wahrscheinlich bei den einzelnen Pferden verschieden stark gewesen. Ebenso ist anzunehmen, daß durch unterschiedliche Fütterung, Pflege und Haltung sowie durch unterschiedliches Training eine ungleiche Kondition bestanden hat. Insbesondere der Trainingszustand der Tiere war wechselnd und müßte bei solchen Untersuchungen nach Möglichkeit berücksichtigt werden. Um Gruppierungen vornehmen zu können, reichte die Anzahl der Probanden jedoch nicht aus. Aus dem gleichen Grunde mußten Alter und Geschlecht der Tiere unberücksichtigt bleiben. Von Einfluß auf die Befunde könnte auch eine unterschiedliche Lauftechnik der einzelnen Tiere sein. Trittlänge, Trittfrequenz und Winkelung der Beine sowie Wechsel der Gangart scheinen eine erhebliche Rolle zu spielen (48 , 14), doch sind die Kenntnisse darüber im

ganzen noch gering. Auf die Lauftechnik hat der Fahrer einigen Einfluß, so daß er auf diese Weise in den Versuchsablauf eingreifen kann.Neben der Bemühung um das Einhalten einer konstanten Geschwindigkeit ist auch das Vermeiden einer plötzlichen forcierten Erhöhung der Geschwindigkeit wichtig. Dieses sogenannte "Pullen", auch wenn es nur kurz andauert, verändert rasch die Milchsäure- und Standardbikarbonatkonzentrationen und beeinflußt eindeutig die Resultate.
Schließlich stellen das "Temperament" eines Pferdes und seine Reaktionen auf Umwelteinflüsse einen Unsicherheitsfaktor dar. Auch hier sind Experimente am Menschen im Vorteil: Der Mensch kann in voller Kenntnis des Versuchsablaufes auch unter ungewohnten Bedingungen "mitarbeiten". Beim Pferde kann dieses wissende und freiwillige Sicheinfügen in das Experiment nicht vorausgesetzt werden. Oft führen schon für den Menschen zwar unmerkliche, für das Pferd dagegen eindrucksvolle Ereignisse in der Umwelt zu Alarmreaktionen, welche Befunde zeitigen, die nicht allein auf den Arbeitsreiz zurückgeführt werden können. Für das Pferd, das sich als Steppen- und Lauftier durch seine natürliche Veranlagung und Mentalität in permanenter Defensive befindet, bewirken fremde Personen, welche ihm überdies, wie in unserem Falle, einen, wenn auch geringen, so doch merklichen Schmerz durch die Blutentnahme zufügen, bestimmt einen leichten Stress. Hinzu kommt, daß die Untersucher nicht zugleich auch die Fahrer waren, die ein besonderes Verhältnis zu den Pferden haben. Nicht nur im Stall sondern auch auf der Bahn kann es unkontrollierte Einwirkungen geben, z.B. durch Lautsprecher (MARSLAND, 36) oder andere Pferde, welche Kampfmomente herbeiführen können.

3. Ergebnisse

Der Lauf der Pferde mit verschiedenen Geschwindigkeiten entsprach unterschiedlichen Belastungsstufen, welche die Standardbikarbonat - und Laktatkonzentrationen sowie den aktuellen pH-Wert veränderten. Zunächst sei auf die Darstellungen hingewiesen, in welchen die Resultate dieser Untersuchung niedergelegt sind. In Tabelle 1 sind alle Mittelwerte "vor" und "nach" der Belastung in allen drei Stufen aufgeführt. Die gleichen Meßgrößen sind in Abbildung 4 als Säulendarstellung veranschaulicht. Der mittlere Anstieg bzw. Abfall der Parameter ist in Abbildung 5 graphisch dargestellt. Außerdem war es unsere Absicht, wenigstens von einem Pferd repräsentativ alle Meßgrößen einschließlich der Geschwindigkeitsverläufe darzustellen, um auf diese Weise bei einem Tier die Einwirkung der Belastungsstufen zu verfolgen. Das war jedoch nicht einfach, weil nur in wenigen Fällen von einem bestimmten Pferd alle drei Parameter in allen drei Stufen bestimmt werden konnten. Im zutreffenden Falle wich meist einer der Parameter stärker vom Mittelwert oder die Geschwindigkeit von der Norm ab. Die Abbildungen 6 bis 8 zeigen ein Pferd, das in seinen Resultaten den Mittelwerten nahekommt und gleichzeitig optimale Verlaufskurven der Geschwindigkeit aufweist.
Die minimale Belastung der Pferde erfolgte in Stufe I. Die hierfür vorgesehene Geschwindigkeit von 300 m/min konnte von den 17 Trabrennpferden über zwei Runden (2400 m) mühelos erbracht werden. Sie entspricht wohl einem leichten "Warmtraben" und bedeutet keine eigentliche Anstrengung für die Tiere.

Standardbikarbonat (mÄq./l)			
Stufe / Zustand	I	II	III
Ruhe	25,97 ± 0,8 n = 17	26,48 ± 1 n = 26	26,42 ± 1,3 n = 17
Arbeit	25,01 ± 0,7 n = 17	24,41 ± 1,1 n = 26	20,72 ± 2,7 n = 17
Mittlerer Abfall	- 0,96	- 2,07	- 5,70

Laktat (mÄq./l)			
Stufe / Zustand	I	II	III
Ruhe	0,495 ± 0,16 n = 22	0,49 ± 0,17 n = 24	0,455 ± 0,1 n = 17
Arbeit	0,615 ± 0,22 n = 22	1,96 ± 1,11 n = 24	7,37 ± 3,36 n = 17
Mittlerer Anstieg	+ 0,12	+ 1,47	+ 6,92

Aktueller pH-Wert			
Stufe / Zustand	I	II	III
Ruhe	7,39 ± 0,02 n = 25	7,395 ± 0,02 n = 25	7,385 ± 0,02 n = 18
Arbeit	7,40 ± 0,02 n = 25	7,385 ± 0,03 n = 25	7,335 ± 0,05 n = 18
Mittlerer Anstieg / Abfall	+ 0,01	- 0,01	- 0,05

Tab. 1

Mittlere Ruhe- und Arbeitswerte und mittlerer Anstieg bzw. Abfall von Standardbikarbonat, Laktat und aktuellem pH-Wert in den Stufen I, II und III

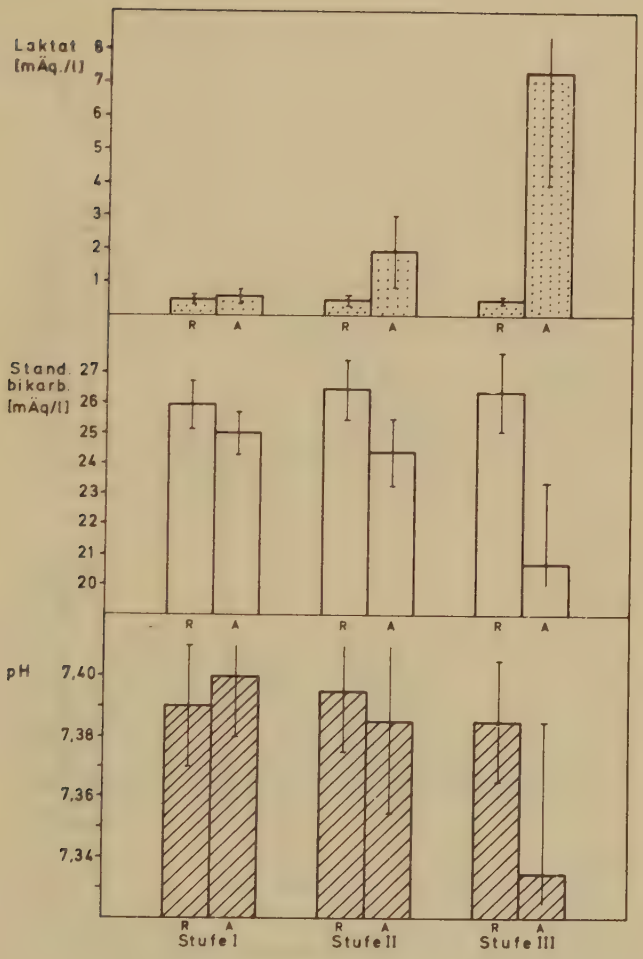


Abb. 4

Mittlere Ruhe- (R) und Arbeitswerte (A)
von Laktat, Standardbikarbonat und
aktuellem pH-Wert in den Stufen I, II und III
mit Standardabweichungen

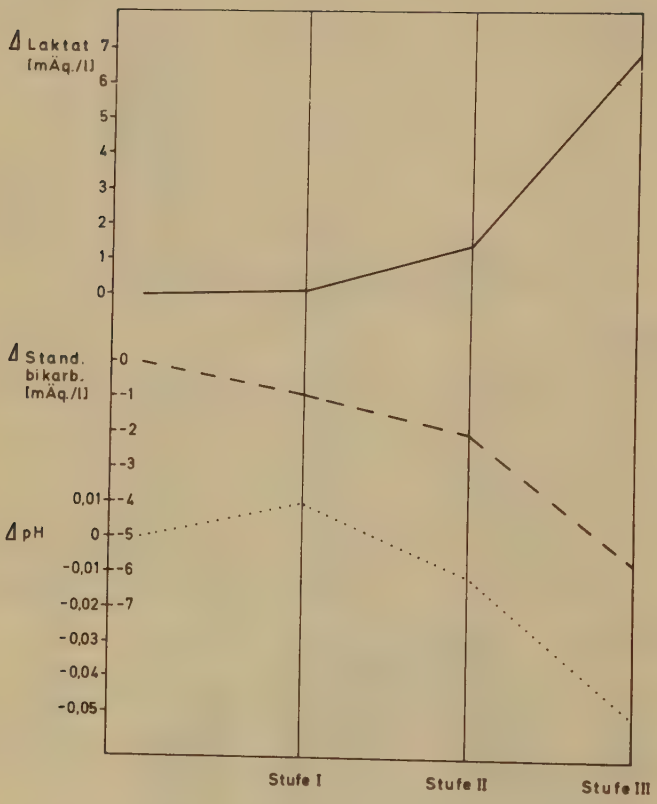


Abb. 5

Mittlerer Anstieg bzw. Abfall aller Arbeitswerte (Stufe I, II, III) von Laktat, Standardbikarbonat und aktuellem pH-Wert gegenüber den Ruhewerten

Standardbikarbonat

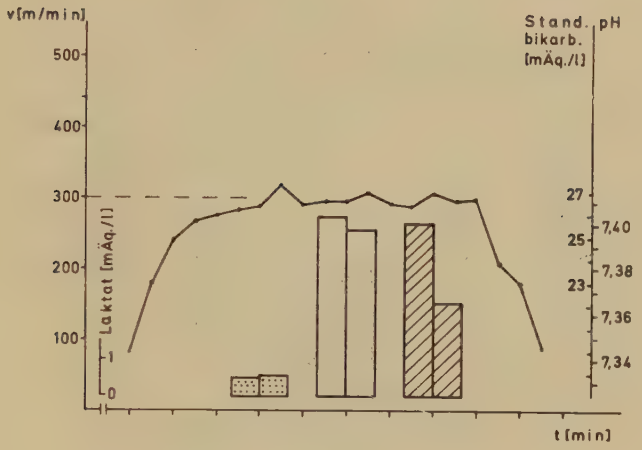


Abb. 6

Stufe I
Beispiel des Versuchstieres Nr. 6
Ruhe- und Arbeitswerte (Laktat, Standardbikarbonat, aktueller pH-Wert) und Geschwindigkeitsverlauf
(Abstand der Zeitmarken auf der Abszisse: 1 Min.)

Laktat | Standard-bikarbonat | Aktueller pH-Wert

Auf der ersten Belastungsstufe sank das Standardbikarbonat bereits im Mittel von 25,97 mÄq./l auf 25,01 mÄq./l ab. Der relativ niedrige Abfall von 0,96 mÄq./l ist signifikant ($p < 0{,}01$ %). Eines der Pferde zeigte bereits hier einen Abfall von 3,84 mÄq./l und immerhin 4 weitere Tiere zeitigten einen Abfall von über 1 mÄq./l. Bei anderen Pferden fiel das Bikarbonat nur geringfügig ab.

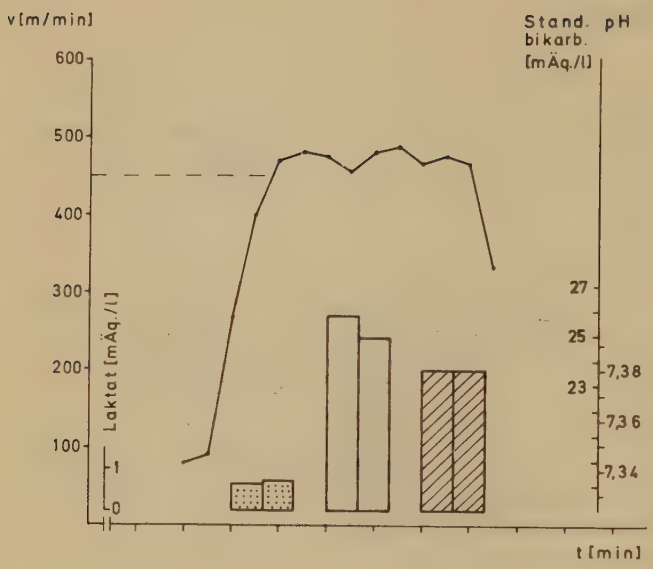


Abb. 7

Stufe II
Beispiel des Versuchstieres Nr. 6
Ruhe- und Arbeitswerte (Laktat,
Standardbikarbonat, aktueller
pH-Wert) und Geschwindigkeitsverlauf
(Abstand der Zeitmarken auf der Abszisse: 1 Min.)

Laktat | Standard-bikarbonat | Aktueller pH-Wert

In der zweiten Stufe hatten die Pferde die Meßstrecke mit einer Geschwindigkeit von 450 m/min durchlaufen. Mit 26 Tieren war hier die größte Anzahl von Probanden in einem Test. Die mittlere Ruhewert lag hier wie auch in Stufe III mit 26,48 bzw. 26,42 mÄq./l etwas über jenem der ersten Stufe. Nach der Belastung sank das Standardbikarbonat im Mittel auf 24,41 mÄq./l ab. Der Abfall ist in

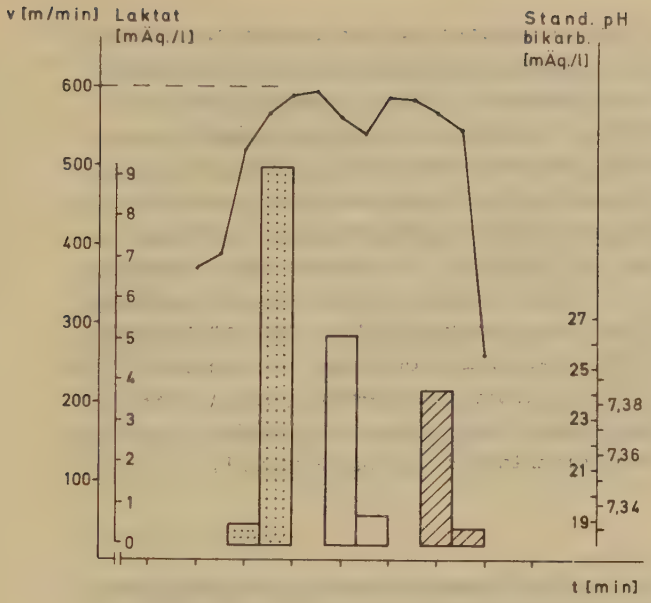


Abb. 8

Stufe III
Beispiel des Versuchstieres Nr. 6
Ruhe- und Arbeitswerte (Laktat, Standardbikarbonat, aktueller pH-Wert) und Geschwindigkeitsverlauf
(Abstand der Zeitmarken auf der Abszisse: 1 Min.)

Laktat — Standard-bikarbonat — Aktueller pH-Wert

dieser zweiten Stufe mit 2,07 mÄq./l schon ausgeprägter. Der geringste Abfall des Bikarbonats, welcher bei 4 Probanden gemessen wurde, betrug weniger als 1 mÄq./l (etwa 0,9 mÄq./l), der größte betrug immerhin 3,65 mÄq./l. Insgesamt fiel das Standardbikarbonat bei 5 Probanden um mehr als 3 mÄq./l ab.

Die dritte Stufe bedeutete für die Pferde die stärkste Belastung innerhalb der Versuchsanordnung, wenn auch noch nicht maximale Arbeit. Ausgehend von einem Ruhewert von durchschnittlich 26,42 mÄq./l sank das Bikarbonat während dieser Stufe auf 20,72 mÄq./l im Mittel. Gegenüber dem mittleren Abfall von 5,70 mÄq./l wiesen zwei der 17 Tiere nur einen solchen von 2,13 bzw. 2,18 mÄq./l, alle anderen aber bereits ein Defizit von nicht unter 3,30 mÄq./l auf. Andererseits fiel das Standardbikarbonat in drei Fällen um mehr als 9 mÄq./l ab. Das größte Defizit lag bei 9,80 mÄq./l. Der tiefste Arbeitswert, welcher überhaupt gemessen worden ist, betrug 15,16 mÄq./l, gefolgt vom zweitniedrigsten mit 16,52 mÄq./l.

Laktat

Entsprechend den Beziehungen zwischen Bikarbonat und Milchsäure ist die Laktatkonzentration in allen drei Stufen erwartungsgemäß angestiegen. In Übereinstimmung mit dem kleinen Abfall des Bikarbonats in der ersten Stufe stieg auch das Laktat nur geringfügig an. Ausgehend von einem mittleren Ruhewert von 0,495 mÄq./l stieg die Milchsäurekonzentration um 0,12 mÄq./l nach dem Lauf auf 0,615 mÄq./l an. Diese Differenz ist statistisch nicht gesichert (p = 5%). Viele Pferde wiesen jedoch kaum eine Veränderung der Laktatkonzentration auf.
Weit ausgeprägter als in der ersten Stufe und dem Standardbikarbonat gegenüber vergleichsweise dramatischer änderte sich der Laktatspiegel in der zweiten Belastungsstufe: er stieg im Mittel auf 400% des Ausgangswertes. Wurden vor dem Lauf 0,49 mÄq./l gemessen, so vermehrte sich die Milchsäure nach der Belastung um durchschnittlich 1,47 mÄq./l auf 1,96 mÄq./l. Bei 11 der 24 Probanden blieb der Anstieg der Milchsäure unter 1 mÄq./l, bei 4 anderen stieg das Laktat um über 3 mÄq./l an (Höchstanstieg: 4,61 mÄq./l).

Die dritte Belastungsstufe ließ die Milchsäure noch drastischer ansteigen. Ausgehend von einem Ruhewert von 0,455 mÄq./l stieg sie im Mittel auf 7,37 mÄq./l an. Dieser Anstieg um 6,92 mÄq./l entspricht einer Vermehrung des Laktats auf das etwa 16-fache des mittleren Ruhewertes. Von den dieser Belastung unterzogenen 17 Pferden zeigte eines einen extrem geringen Anstieg: 2 mÄq./l. Bei drei anderen Pferden stieg das Laktat um weniger als 4 mÄq./l (3,08 bis 3,98 mÄq./l) an. Andererseits stieg die Milchsäure bei drei Pferden um mehr als 11 mÄq./l (11,60 , 12,33 und 13,46 mÄq./l) an. Der höchste überhaupt gemessene Arbeitswert betrug 13,92 mÄq./l, die beiden nächstniedrigeren waren 12,64 und 12,15 mÄq./l.

Aktueller pH-Wert

Die Wasserstoffionenkonzentration wurde noch im Stallgebäude unmittelbar nach dem Rennen als "aktueller pH-Wert" bestimmt. Die mittleren Ruhewerte aller drei Stufen blieben mit 7,39, 7,395 bzw. 7,385 konstant. Nach Arbeitsbelastung in den ersten beiden Stufen blieb der pH-Wert nahezu unverändert. Der Anstieg in der ersten Stufe um 0,01 Einheiten und der Abfall in Stufe II um den gleichen Betrag vom Ausgangswert ist jeweils nicht signifikant. Erst in der dritten Stufe sank der aktuelle pH-Wert um durchschnittlich 0,05 Einheiten, so daß ein mittlerer Arbeitswert von 7,335 beobachtet werden konnte. Die tiefsten überhaupt gemessenen pH-Werte betrugen 7,25 , 7,27 und 7,285.

V. Besprechung der Ergebnisse

Leistungsphysiologische Untersuchungen können sich im allgemeinen an ähnlichen Arbeiten der Sportmedizin orientieren, die bereits über große Erfahrungen am Menschen verfügt.Das gilt vor allen Dingen im Hinblick auf eine quantitative Ergometrie. Hierzu wird meist ein Drehkurbel- oder Fahrradergometer verwendet. Weg und Zeit sowie die variable Kraft, welche, durch Zusatzmagnete, Wirbelstrombremsen oder Gewichte erzeugt, von der Versuchsperson überwunden werden muß, sind bequem abzulesen. Die Fehlerbreite solcher Leistungsmessungen kann unter 1% gehalten werden (HOLLMANN,21). Neben der Bequemlichkeit der Versuchsanordnung können viele im Freien unvermeidliche Variable, z.B. klimatische Einflüsse, im Labor nicht nur standardisiert sondern sogar willkürlich beeinflußt werden.
Obgleich das Ergometer auf den ersten Blick reproduzierbare Resultate zu liefern scheint, gibt es doch störende Veränderliche, die aber vorwiegend mit dem Probanden selbst zusammenhängen. Drehzahl, Kurbelhöhe und -länge des Ergometers sind standardisierbar, allenfalls auch die Belastungsart, die Dauer der Arbeit sowie die Körperlage, in welcher sie geleistet werden soll. Der Energieaufwand des Probanden kann jedoch unterschiedlich sein, soweit seine aktuelle Kondition, die vom Trainingszustand, den Lebens- und Arbeitsverhältnissen, der Ernährung und anderen Faktoren abhängt, Schwankungen unterworfen ist.
Die Belastungsform kann an Ergometern variiert werden, indem etwa die Versuchsperson die zu messende Gesamtleistung nur mit Arm- oder Beinkraft oder beiden zusammen erbringt. Dabei werden einerseits völlig verschiedene und unterschiedlich trainierte Muskelgruppen betätigt, andererseits auch die Blutzirkulation in wechselnder Weise beansprucht.

HOLLMANN (21) beschrieb hierzu einen aufschlußreichen Versuch, den E.A.MÜLLER angestellt hatte. Letzterer bestimmte mit Hilfe der Erholungspulssumme den Grenzwert der Leistung, welchen ein Muskel oder eine Muskelgruppe unter der Bedingung ausreichender Blutversorgung erreicht.
Versuchspersonen leisteten am Fußergometer mit jedem Wadenmuskel 75 mkp/min, mit beiden Wadenmuskeln bei abwechselnder Betätigung das Doppelte.Am Fahrradergometer leisteten beide Beine 525 mkp/min, am Drehkurbelergometer beide Arme 300 mkp/min. Alle Beine und Arme zusammen erbrachten jedoch nicht die vielleicht erwartete Leistungssumme von 825 mkp/min, sondern nur 550 mkp/min. HOLLMANN erläuterte an diesem Experiment, daß im ersten Versuch die Arbeitsfähigkeit der Wadenmuskeln peripher limitiert worden ist,indem die Durchblutung und damit die Sauerstoffversorgung in diesem Gebiet örtlich ihr Maximum erreicht hatten. Im zweiten Versuch beschränkte dagegen das Herzminutenvolumen die Leistungsfähigkeit der Tätigkeitsmuskulatur.HOLLMANN sprach entsprechend von einer "lokalen Muskelausdauer", weil bei Einsatz einer kleinen Muskelgruppe die periphere Vaskularisierung das leistungsbegrenzende Moment ist, und von einer "generellen Ausdauer", weil größere Muskelgruppen nur mit einem ausreichenden Herzminutenvolumen ihre Leistung zu steigern vermögen.
Am Beispiel der lokalen Muskelausdauer läßt sich die Problematik der Ergometrie aufzeigen. Selbst bei ähnlichem allgemeinen Trainingszustand kann man am meist verwendeten Fahrradergometer eigentlich die Leistungen verschiedener Sportler unterschiedlicher Disziplinen nur bedingt miteinander vergleichen, weil die lokale Muskelausdauer der Beinmuskulatur z.B. bei Läufern und Ruderern unterschiedlich entwickelt sein dürfte. Die Ergometrie erfolgt also meist unter Bedingungen, die weder der Sportart des Probanden noch dem Milieu, in dem er sie ausübt, entspricht (WITTKE und KRZYWANEK,59).

Beim Sportpferd ist eine Belastungsart, welche die Leistung direkt zu messen erlaubt, nur schwer realisierbar (KRZYWANEK und WITTKE,58), es sei denn, man verwendet Versuchsanordnungen, die auf Zugbelastungen basieren, etwa Schlitten, die mit Gewichten bestückt werden können (HÖRNICKE et al.,20 ; SOLUN, 48; EFTIMESCU,13). Die Prüfung von Trabrennpferden ist mit solchen Methoden allerdings nicht möglich.

Man muß also die Leistung der Pferde anders und indirekt bemessen. Naheliegend ist die Registrierung der Laufgeschwindigkeit, weil man aus der Leistungsphysiologie weiß, daß sich Energieaufwand und Laufgeschwindigkeit innerhalb gewisser Grenzen proportional zueinander verhalten (STRAUZENBERG et al.,49 ; ROBINSON et al.,37). Um eine konstante Leistung auf der jeweiligen Belastungsstufe zu erhalten, muß der Verlauf der Geschwindigkeit während des ganzen Experiments kontrolliert werden. WITTKE und KRZYWANEK(59) halten die Laufgeschwindigkeit des Rennpferdes für einen natürlichen, allerdings auch sehr individuellen Gradmesser seiner Leistung, welcher aber durchaus geeignet ist, Trainingsfortschritte zu erkennen oder Formvergleiche anzustellen.

Will man Vergleiche zwischen Rennpferden und Laufsportlern ziehen, ist doch auf erhebliche Unterschiede der Leistungsanpassung hinzuweisen. Das Pferd ist im Gegensatz zum Menschen durch natürliche Anlage und züchterische Selektion ein Laufspezialist, bei welchem eine Trainierbarkeit im Sinne dramatischer Leistungssteigerungen kaum zu erwarten ist (WITTKE und KRZYWANEK, (59). Ein weiterer Unterschied zwischen Mensch und Pferd tritt durch die Funktion der Milz infolge körperlicher Belastung zutage. Dieses Organ ist in der Lage, bei Arbeit durch reflektorische Ausschüttung von Erythrozyten den Hämatokrit drastisch zu erhöhen.

SCHEUNERT und MÜLLER (41) beobachteten bei Jagdpferden nach Höchstleistungen eine erhebliche Verschiebung des Verhältnisses von Plasma zu Erythrozyten zugunsten letzterer. Während vor der Arbeit ein Hämatokrit von 22,2 bis 42,2 Vol% gemessen wurde, betrug derselbe nachher zwischen 40,0 und 58,8 Vol%, ging jedoch in der Erholungsphase schnell zurück. Daß diese Erscheinung auch durch Erregung auftreten kann, kompliziert ihre Beurteilung.
Auch WITTKE (56) untersuchte an Pferden vor, während und nach dem Lauf Blutproben, um das jeweilige Verhältnis der Blutkörperchen zur Plasmamenge zu bestimmen. Dazu gingen die Tiere im Trab oder Galopp an der Longe. Bereits eine Minute nach Beginn der Bewegung trat eine Polyzythämie auf, die nach zwei Minuten eine für den ganzen Lauf charakteristische Höhe erreichte. Der Autor beobachtete, daß sich das relative Blutkörperchenvolumen verdoppeln konnte.
Durch die Arbeitspolyglobulie wird beim Pferde im Gegensatz zum Menschen der Hämoglobinpuffer erheblich verstärkt. Da einerseits das Standardbikarbonat nur einen Teil der gesamten Pufferkapazität kennzeichnet, andererseits beim Pferde infolge Belastung die Hämoglobinmenge zunimmt, wird die Inanspruchnahme der Blutpuffer auf Grund der Information durch das Standardbikarbonat wahrscheinlich unterschätzt.
Wir glauben, wegen der bestehenden Unterschiede Veränderungen des Standardbikarbonats anders beurteilen zu müssen als quantitativ ähnliche beim Menschen. Auch EFTIMESCU (13), der sich auf ein umfangreiches Untersuchungsmaterial stützen konnte, wendete sich im Hinblick auf die Alkalireserve gegen eine unkritische Übernahme von Verhältnissen des Menschen auf das Pferd.

Unsere Ruhewerte befinden sich in Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Autoren. Allerdings gibt es nicht viele vergleichbare Literaturangaben. Einerseits ist das Pferd bisher leistungsphysiologisch

wenig untersucht worden, andererseits basieren die Ergebnisse der Tests mancher Autoren auf Methoden, welche von den Unserigen abweichen. Für das Standardbikarbonat wurden die Werte häufig unter Verwendung von Nomogrammen, welche für den Menschen gelten, erstellt, mittels elektrometrischer bzw. titrimetrischer Messungen ermittelt oder unter Verwendung der pH-Zahl und des CO_2-Druckes errechnet. Mit manchen Angaben können unsere Ruhewerte daher nur unter Einschränkungen verglichen werden. Sie befinden sich in Übereinstimmung mit Untersuchungen von BOGDANOW (6), DE MOOR (10), HAUSER-HÜRLIMANN (19), LUY und KÖSER (34) und SOLUN (48).

Die Arbeitswerte werden ganz überwiegend durch die Veränderungen der fixen Säuren beeinflußt und am Standardbikarbonat wird erkennbar, in welchem Maße sie im Blut gebunden worden sind. Unter den fixen Säuren versteht man in erster Linie die Milch- und die Brenztraubensäure. Daneben spielen noch die Freien Fettsäuren eine Rolle.

Der Abfall des Standardbikarbonats in der ersten Stufe (300 m/min) von 25,97 auf 25,01 mÄq./l ist noch relativ geringfügig, aber mit fortschreitender Belastungsintensität in der zweiten und dritten Stufe ließ sich die Entstehung einer metabolischen Azidose, indiziert durch die Beanspruchung des Bikarbonatpuffers, gut beobachten. Bereits in der zweiten Stufe (450 m/min) sank der Bikarbonatspiegel im Mittel um 2,07 mÄq./l und in der dritten Stufe (600 m/min) fast auf drei Viertel des Ausgangswertes.

Bei einzelnen Tieren war ein unterschiedliches Verhalten des Bikarbonats in den jeweiligen Stufen zu beobachten. Dafür sind in erster Linie zwei Faktoren verantwortlich zu machen: Abweichungen von der vorgesehenen Geschwindigkeit und der Trainingszustand. In der Stufe I ist der erstgenannte Faktor von minderer Wichtigkeit, denn 300 m/min sind auch über 2400 m leicht

gleichmäßig einzuhalten. Er tritt daher bei der Suche nach den Ursachen für die unterschiedlichen Arbeitswerte der Tiere in Stufe I zurück. Größeren Einfluß scheinen der Trainingszustand und ein weiterer Faktor zu haben, welcher vielleicht als unterer Schwellenwert der Belastung bezeichnet werden könnte. Schon KRONACHER und HOGREVE (30) fanden bei ihren Versuchen, daß manche Arbeiten einfach nicht hinreichten, um eine physiologische Antwort in Form eines Absinkens des Bikarbonatpuffers zu erzwingen. Diese untere Reizschwelle kann vielleicht durch den jeweiligen Leistungsstand der Tiere herauf- oder herabgesetzt werden. So kam es, daß in der ersten Stufe einige Pferde gar keine, andere eine eigentlich schon der zweiten Stufe entsprechende Reaktion zeigten. Bei ersteren handelte es sich um besser trainierte Tiere mit hohem Leistungsstand, letztere waren von schwacher Kondition. Die besser trainierten Tiere hatten wahrscheinlich auch ein besseres Ventilationsvermögen, das es ihnen gestattete, auftretende azidotische Tendenzen noch während des Laufes wirkungsvoller respiratorisch zu kompensieren. In der zweiten und dritten Belastungsstufe läßt sich die frühere und stärkere Abnahme des Standardbikarbonatgehaltes bei weniger trainierten Tieren noch besser feststellen. Sie hat ihre Ursache in einem früheren und stärkeren Anstieg fixer Säuren, vor allem des Laktats und Pyruvats, während der Arbeit. Ähnliche Beobachtungen machten DOLL et al. (11) beim Menschen.
Analog zu den Werten der Stufe I finden sich in der Stufe II bei "schlechteren" Pferden Defizite, welche eigentlich in die Stufe III gehörten und umgekehrt bei "guten" Tieren solche Abnahmen des Bikarbonats, wie sie durchschnittlich in der Stufe I beobachtet wurden. Genauso liegen die Verhältnisse in der Stufe III. Hier fällt darüber hinaus auf, in welch hohem Maße der Bikarbonatpuffer beansprucht werden kann. Ist der mitt-

lere Abfall um fast ein Viertel des mittleren Ruhewertes (5,70 mÄq./l) schon bemerkenswert hoch, so wiesen einzelne Tiere fast den doppelten Betrag auf. Bei dreien der 17 Probanden fiel das Standardbikarbonat um über 9 mÄq./l ab. Bei einem Tier fiel der Arbeitswert mit 15,16 mÄq./l sogar auf rund 60% des Ausgangswertes, der in diesem Falle 24,96 mÄq./l betragen hatte. In unserer Versuchsanordnung war die Anzahl der "guten" und "schlechten" Tiere etwa gleich. Die geringen Abweichungen der Geschwindigkeit von der vorgesehenen Norm, welche besonders in der zweiten und dritten Stufe unvermeidlich waren, trugen außerdem zur Streuung der Einzelwerte nach Belastung bei. Eine stärkere Geschwindigkeitserhöhung von kurzer Dauer intensiviert die Laktatbildung und damit den Bikarbonatabfall mehr als eine schwächere von längerer Dauer. Im allgemeinen entspricht das Verhalten des Bikarbonats den Erwartungen, wie sie aus der Beobachtung des Laktats resultieren, d.h. die Milchsäure zeigt über alle Stufen eine ansteigende Tendenz während das Standardbikarbonat in der Folge kontinuierlich abfällt. Der Anstieg der Milchsäure in der ersten Stufe ist jedoch nicht statistisch gesichert. Damit befinden wir uns in Übereinstimmung mit BOHN (7), der bei niedriger Belastung sogar ein Absinken der Milchsäure feststellte.

Es ist nun zu erklären, weshalb das Standardbikarbonat bereits in der ersten, das Laktat ab der zweiten und schließlich der aktuelle pH-Wert in der dritten Belastungsstufe systematisch verändert wurden.
Das Standardbikarbonat verhält sich in allen drei Stufen erwartungsgemäß. Der Puffer wird durch die sauren Stoffwechselprodukte wie Milch- und Brenztraubensäure beansprucht und dadurch vermindert. Daß die Veränderung des Bikarbonats im Gegensatz zu jener der Milchsäure in Stufe I statistisch gesichert ist, kann auf die

Wirkung der anderen Säureäquivalente zurückgeführt werden, die neben der Milchsäure eine Azidämie verursachen. Nachdem das Verhalten des Standardbikarbonats keine Fragen aufwirft, ist zu klären, weshalb das Laktat in der Stufe I und der aktuelle pH-Wert in den Stufen I und II nach der Belastung relativ konstant bleiben. Um das Verhalten des pH-Wertes erklären zu können, muß berücksichtigt werden, daß er nach HENDERSON-HASSELBALCH vom Verhältnis der gebundenen zur freien Kohlensäure im Blut abhängt:

$$pH = pK + \log \frac{(HCO_3^-)}{(CO_2)}$$

pK bedeutet in dieser Gleichung den negativen dekadischen Logarithmus der zu einer Konstanten zusammengezogenen Dissoziationskonstanten der Kohlensäure im Plasma bei 38° C und des Aktivitätskoeffizienten des Hydrogenkarbonats. Erwartungsgemäß müßte infolge der Arbeit das HCO_3^- vermindert, die CO_2 dagegen vermehrt werden, woraus eine Verkleinerung des Quotienten und damit eine Abnahme der pH-Zahl resultierte. Zur Erklärung der pH-Konstanz in den ersten beiden Stufen gilt es also Tendenzen aufzuzeigen, welche entweder eine Vergrößerung des Zählers im obigen Quotienten oder eine Verminderung des Nenners bewirken könnten. Zunächst muß das für das Pferd charakteristische Phänomen der reflektorischen Erythrozytenausschüttung in das Blut beachtet werden. Dieser Reflex kann durch Arbeit (SCHEUNERT und MÜLLER, 41 ; WITTKE und KRZYWANEK, 59 ; BOHN, 7 ; WITTKE, 56) oder Schreck (SCHEUNERT und KRZYWANEK, 42) ausgelöst werden. Der Hämatokrit wurde bei unseren Untersuchungen mitgemessen und stieg in Stufe I um 31,6 %, in Stufe II um 42,5 % und in Stufe III nur noch um 45,3 % über den Ausgangswert. Auffallend ist also das rasche Ansteigen des relativen Erythrozytenvolumens gerade unter

der geringsten Belastung in Stufe I. Mit der Vermehrung der Blutkörperchen wird die Sauerstoffversorgung verbessert. Damit steht gerade in der ersten Stufe viel Sauerstoff zur Verfügung, der dem Organismus die aerobe Glykolyse in dem erforderlichen Umfang erlaubt. Die ohnehin geringe Laktatmenge, die in der ersten Belastungsstufe entsteht, kann durch die relativ gute Versorgung mit Sauerstoff rasch oxydiert werden. Das würde zu einem Teil erklären, weshalb die Laktatkonzentration im Blut in der ersten Stufe nicht nennenswert ansteigt.
Weiterhin ist an eine stärkere Durchblutung der Beinmuskulatur zu Beginn des Laufs zu denken. Auf diese Weise kann entstandenes Laktat schnell beseitigt werden. BOHN und WITTKE (57) stellten bei Pferden fest, daß die Milchsäurekonzentration so lange absank, wie die Pulsfrequenz noch gesteigert werden konnte. Soweit das Laktat nicht in der Muskelzelle selbst verwendet werden kann, gelangt es mit dem Blutstrom in die Leber und in andere milchsäureutilisierende Organe wie z.B. den Herzmuskel oder die Lunge (ALPERN et al.,1), wo es oxydiert oder zu Glykogen resynthetisiert wird. Erhöhte Sauerstoffkapazität des Blutes, Perfusion der arbeitenden Muskulatur und Utilisation in einigen Geweben bewirken zusammen eine Verminderung des Laktatspiegels im Plasma.
Der Anstieg des Hämatokrits bedeutet nicht nur eine Hemmung der Laktatbildung durch eine Verbesserung der Sauerstoffversorgung sondern gleichzeitig auch eine Erhöhung der Pufferkapazität. Für das Pferd ergibt sich also gerade in der untersten Belastungsstufe eine besonders große Entlastung des Bikarbonatpuffers, sodaß die Tendenz zur Verkleinerung des Zählers im Quotienten der HENDERSON-HASSELBALCH'schen Gleichung aufgehalten wird. Mit Zunahme der Atemantriebe während des Laufes wird die CO_2-Abgabe gefördert. Das bedeutet eine Tendenz, in dem genannten

Quotienten den Nenner zu verkleinern, was wiederum einem Absinken der pH-Zahl entgegenwirkt. Diese Argumente würden erklären, daß die Wasserstoffionenkonzentration auf den ersten beiden Belastungsstufen nicht erhöht gefunden worden ist. Es könnte aber auch sein, daß eine dennoch entstandene Arbeitsazidose schon während des Laufens, spätestens aber im Zeitraum zwischen Abbremsen des Tieres und der Blutentnahme respiratorisch kompensiert worden ist.

VI. Zusammenfassung

27 hochtrainierte Trabrennpferde wurden Laufbelastungen auf drei Geschwindigkeitsstufen unterzogen (300, 450 und 600 m/min). Vor und unmittelbar nach dem Lauf wurde ihnen Blut aus der ungestauten Vena jugularis entnommen. Bestimmt wurden Standardbikarbonat, Laktat und aktueller pH-Wert.

Die Ruhewerte für das Standardbikarbonat betrugen vor allen Belastungen im Mittel zwischen 25,97 und 26,48 mÄq./l. Nach den Belastungen in den Stufen I, II und III wurden durchschnittlich 25,01 bzw. 24,41 bzw. 20,72 mÄq./l gemessen.
Die mittleren Milchsäurekonzentrationen betrugen in Ruhe 0,495, 0,49 und 0,455 mÄq./l, nach Belastung in den Stufen I bis III 0,615 bzw. 1,96 bzw. 7,37 mÄq./l. Auf der höchsten Stufe stieg also die Laktatkonzentration auf das etwa 16-fache des mittleren Ausgangswertes an.
Der aktuelle pH-Wert fiel erst bei Laufgeschwindigkeiten von 600 m/min auf 7,335 ab. In allen anderen Zuständen bewegte er sich zwischen 7,40 und 7,385. Auf den Belastungsstufen I und II ist die durch das Standardbikarbonat indizierte metabolische Azidose kompensiert worden.

VII. Tabellen

Standardbikarbonat (mÄq./l)

Stufe I

Lfd.Nr.	Versuchstier-Nr.	vor Belastung	nach Belastung
1	1	25,44	25,40
2	2	25,12	24,42
3	3	25,94	25,27
4	4	27,66	26,63
5	5	25,51	24,63
6	6	25,97	25,33
7	7	26,66	25,88
8	8	25,69	25,18
9	9	26,55	25,00
10	10	25,31	24,97
11	11	27,61	23,77
12	12	24,73	24,57
13	13	26,18	24,21
14	14	26,28	24,71
15	15	25,64	24,84
16	7	26,18	26,03
17	17	25,10	24,40

Tab. 2

Ruhe- und Arbeitswerte der Versuchstiere für Standardbikarbonat (Stufe I)

Standardbikarbonat (mÄq./1)

Stufe II

Lfd.Nr.	Versuchs-tier-Nr.	vor Belastung	nach Belastung
1	18	25,51	23,82
2	19	27,22	25,92
3	20	27,61	25,84
4	6	25,84	24,97
5	12	24,71	23,67
6	11	25,46	23,89
7	3	25,13	22,87
8	15	26,99	24,36
9	5	26,75	23,10
10	8	27,90	25,60
11	2	26,26	25,29
12	21	27,07	24,62
13	11	26,93	24,40
14	10	25,78	23,65
15	26	27,38	26,29
16	19	26,53	24,66
17	17	27,56	24,17
18	14	27,05	23,97
19	27	24,96	23,99
20	22	26,70	24,25
21	16	27,44	24,84
22	4	27,79	25,77
23	23	25,73	24,23
24	24	25,04	21,58
25	7	26,23	25,45
26	25	26,95	23,45

Tab. 3

Ruhe- und Arbeitswerte der Versuchstiere für Standardbikarbonat (Stufe II)

Standardbikarbonat (mÄq./l)

Stufe III

Lfd.Nr.	Versuchs-tier-Nr.	vor Belastung	nach Belastung
1	2	25,93	20,29
2	15	28,65	18,93
3	8	27,52	23,70
4	14	26,56	19,23
5	7	27,28	23,84
6	3	27,45	24,11
7	4	27,16	22,86
8	26	25,91	23,73
9	2	26,59	17,57
10	15	28,08	22,37
11	25	24,80	16,52
12	10	26,45	21,89
13	6	26,23	19,22
14	22	24,96	15,16
15	20	25,11	21,44
16	5	23,80	21,67
17	13	26,68	19,79

Tab. 4

Ruhe- und Arbeitswerte der Versuchstiere für Standardbikarbonat (Stufe III)

Milchsäure (mÄq./l)

Stufe I

Lfd.Nr.	Versuchs-tier-Nr.	vor Belastung	nach Belastung
1	22	0,4403	0,4320
2	20	0,4722	0,4708
3	1	0,7259	0,6293
4	2	0,4248	0,9854
5	3	0,4831	0,5784
6	25	0,5521	0,9509
7	4	0,4484	0,5522
8	5	0,7936	0,6985
9	6	0,4869	0,5772
10	8	0,6888	0,8887
11	26	0,5048	0,3897
12	9	0,3189	0,6524
13	10	0,3840	0,3195
14	11	0,3637	0,8093
15	27	0,2820	0,3264
16	18	0,8361	0,6293
17	19	0,3593	0,2967
18	14	0,4188	0,5429
19	15	0,3155	0,7317
20	7	0,3569	0,6519
21	21	0,6867	0,3171
22	17	0,5304	0,9999

Tab. 5

Ruhe- und Arbeitswerte der Versuchstiere für Milchsäure (Stufe I)

Milchsäure (mÄq./l)

Stufe II

Lfd.Nr.	Versuchs-tier-Nr.	vor Belastung	nach Belastung
1	18	0,6658	1,5992
2	19	0,4589	0,7698
3	20	0,4243	1,3323
4	6	0,6245	0,7138
5	12	0,9199	1,1117
6	11	0,3431	1,1047
7	3	0,3832	2,9018
8	15	0,3893	3,5727
9	5	0,6180	3,8467
10	8	0,6065	1,0040
11	2	0,3620	1,5958
12	21	0,5695	1,6395
13	11	0,5151	1,1424
14	10	0,3619	2,0574
15	26	0,5886	1,4116
16	17	0,2340	3,3680
17	14	0,2243	2,6806
18	27	0,5655	0,7476
19	22	0,2436	1,7257
20	28	0,4177	2,0654
21	4	0,3185	1,8106
22	23	0,7520	2,1260
23	7	0,6398	1,5645
24	25	0,5014	5,1135

Tab. 6

Ruhe- und Arbeitswerte der Versuchstiere für Milchsäure (Stufe II)

Milchsäure (mÄq./l)

Stufe III

Lfd.Nr.	Versuchs-tier-Nr.	vor Belastung	nach Belastung
1	2	0,3510	7,8997
2	15	0,4682	10,4245
3	8	0,3568	4,2918
4	14	0,5713	8,7462
5	16	0,4563	4,4451
6	3	0,6286	4,8491
7	4	0,3572	5,4176
8	26	0,4207	2,4668
9	2	0,3143	12,6449
10	15	0,3775	6,6931
11	25	0,5427	12,1468
12	6	0,5031	9,1879
13	22	0,4454	13,9145
14	20	0,5252	5,2217
15	5	0,5424	3,6238
16	13	0,4826	6,8840
17	10	0,3103	6,3937

Tab. 7

Ruhe- und Arbeitswerte der Versuchstiere für Milchsäure (Stufe III)

Aktueller pH-Wert

Stufe I

Lfd.Nr.	Versuchs-tier-Nr.	vor Belastung	nach Belastung
1	22	7,385	7,392
2	20	7,390	7,395
3	1	7,390	7,380
4	2	7,380	7,365
5	3	7,425	7,420
6	4	7,405	7,420
7	5	7,380	7,375
8	6	7,400	7,365
9	7	7,403	7,415
10	8	7,380	7,395
11	26	7,405	7,400
12	9	7,403	7,395
13	10	7,388	7,395
14	11	7,360	7,380
15	27	7,375	7,420
16	12	7,405	7,420
17	18	7,430	7,405
18	19	7,390	7,405
19	13	7,365	7,385
20	14	7,400	7,410
21	15	7,365	7,375
22	7	7,370	7,415
23	21	7,370	7,425
24	17	7,385	7,410
25	25	7,375	7,375

Tab. 8

Ruhe- und Arbeitswerte der Versuchstiere für den aktuellen pH-Wert (Stufe I)

Aktueller pH-Wert

Stufe II

Lfd.Nr.	Versuchs-tier-Nr.	vor Belastung	nach Belastung
1	18	7,390	7,365
2	19	7,395	7,435
3	20	7,385	7,400
4	6	7,380	7,380
5	12	7,400	7,420
6	11	7,400	7,375
7	12	7,405	7,400
8	15	7,400	7,395
9	5	7,400	7,400
10	8	7,415	7,400
11	2	7,400	7,375
12	21	7,375	7,410
13	11	7,420	7,400
14	10	7,375	7,380
15	26	7,410	7,415
16	17	7,395	7,365
17	14	7,355	7,350
18	27	7,360	7,365
19	22	7,375	7,365
20	28	7,370	7,365
21	4	7,370	7,370
22	24	7,393	7,355
23	1	7,393	7,310
24	16	7,420	7,420
25	25	7,385	7,345

Tab. 9

Ruhe- und Arbeitswerte der Versuchstiere
für den aktuellen pH-Wert (Stufe II)

Aktueller pH-Wert

Stufe III

Lfd.Nr.	Versuchs-tier-Nr.	vor Belastung	nach Belastung
1	19	7,370	7,390
2	2	7,385	7,320
3	15	7,380	7,285
4	8	7,375	7,370
5	14	7,375	7,290
6	16	7,400	7,390
7	3	7,415	7,395
8	4	7,385	7,350
9	26	7,385	7,380
10	2	7,410	7,285
11	15	7,398	7,343
12	25	7,375	7,270
13	10	7,385	7,358
14	6	7,385	7,330
15	22	7,378	7,250
16	20	7,378	7,350
17	5	7,335	7,325
18	13	7,355	7,295

Tab. 10

Ruhe- und Arbeitswerte der Versuchstiere für den aktuellen pH-Wert (Stufe III)

VIII. Literaturverzeichnis

1. Alpern, D., E. Simonson, G. Sirkina u. L.Tutkiewitsch — Über die Rolle der Lunge bei der Milchsäurebeseitigung nach körperlicher Arbeit. Pflügers Arch. Physiol. 235, 554, 1936

2. Altman, P.L. J.F. Gibson u. Ch.C.Wang — Handbook of Respiration. National Academy of Sciences National Research Council. W.B. Saunders Comp., London, 1956

3. Astrup, P. — Erkennung der Störungen des Säure-Base-Stoffwechsels und ihre klinische Bedeutung. Klin. Wschr. Jg. 35, 15, 749 - 753, 1957

4. Bayer, A. — Fortlaufende Registrierung der Laufgeschwindigkeit von Trabrennpferden. Persönliche Mitteilung, Berlin, 1970

5. Böhmer, A. — Untersuchungen des Blutes auf Eiweiß und Alkalireserve bei erschöpften Pferden. Vet.Med.Diss. Hannover, 1949

6. Bogdanow, W., W. Jankowski, I. Krajew u. E. Tschuchina — Biochemisches Kriterium des Arbeitswertes und der konstitutionellen Eigenschaften bei Pferden. Mitteilg.IV: Restitutionsperiode bei Pferden nach dem Rennen. Z. Züchtung B 31, 193, 1935

7. Bohn, M. — Untersuchungen über den Milchsäuregehalt des Pferdeblutes in Ruhe und während der Bewegung. Vet.Med.Diss. Berlin, 1957

8. Bolz, W. u. Bieniek, H. — Lungenfunktionsprüfungen beim chronisch-alveolären Lungenemphysem des Pferdes II. Störungen im Säurebasengleichgewicht. Mhefte prakt. Tierhk.,Stuttgart, 13, 256, 1961

9. De Lanne, R. , J.R. Barnes , L. Brouha u. F. Massart — Changes in acid-base balance and blood gases during muscular activity and recovery J. Appl. Physiol. 14 (3), 328-332 1959

10. De Moor, A. — Influence of Atropine on Arterial Oxygen Tension, Acid-Base Status and Tissue Hypoxia in the Conscious Horse Zbl. Vet. Med., A, 15 , 494 - 498, 1968

11. Doll, E. , J. Keul , Chr.Maiwald u. H. Reindell — Das Verhalten von Sauerstoffdruck, Kohlensäuredruck, pH, Standardbikarbonat und base excess im arteriellen Blut bei verschiedenen Belastungsformen Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 22, 327 - 355, 1966

12. Dukes, H. H. — The Physiology of Domestic Animals Comstock Publishing Assoc. Ithaca New York, 1955

13. Eftimescu, J. — Untersuchungen über die Alkalireserve des Pferdeblutes Zschr. Tierzüchtung u. Züchtungsbiologie, 19 , 233 - 267 , 1930

14. Ehrlein,H.W. v. — Erläuterungen der Bewegungsökonomie von Trabrennpferden auf einer Tagung des Arbeitskreises für Pferdeleistungssport in Berlin , 1970

15. Eisenburger, K. — Alkalireserve und Heiltendenz bei chirurgischen Erkrankungen des Pferdes Vet. Med. Diss. Hannover, 1957

16. Gercken, G. — Die quantitative enzymatische Dehydrierung von L(+)-Lactat für die Mikroanalyse Hoppe-Seyler's Hschr. Physiol. Chem. Bd. 320 , 180 , 1960

17. Gillespie, J.R., W. S. Ty ler u. V. E. Eberly — Blood pH, O_2, and CO_2 tensions in exercised control and emphysematous horses
Am J. Physiol. 207 (5), 1067- 1072, 1964

18. Hasselbalch,K.A. — (1916), zitiert nach Nr. 46 , S. 57

19. Hauser-Hürlimann, K. — Bestimmung des Normalwertes des Standardbikarbonates im Blut von Pferd, Rind, Hund und Katze (Elektrometrische Methode nach P.Astrup)
Vet.Med.Diss. Zürich, 1967

20. Hörnicke, H. — Bericht über Untersuchungen bei Pferden im Jahre 1969, Hannover, 1969

21. Hollmann, W. — Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers
J.A. Barth Verlag München, 1963

22. Hoppe-Seyler u. Thierfelder — Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse für Ärzte, Biologen und Chemiker
Allgemeine Untersuchungsmethoden, Zweiter Teil, 10. Aufl., 2.Bd.
Springer Verlag Berlin Göttingen Heidelberg, 1955

23. Ijichi, N. — (1922), zitiert nach Nr.2 , S.93

24. Jørgensen, K. u. Astrup, P. — Standardbicarbonate, its clinical significance, and a new Method for its determination
Scand. J. Clin. Laborat. Invest. 9, 122 - 132 , 1957

25. Jovy, D. — (1956), zitiert nach Nr. 45 ,S. 742

26. Kolb,E. — Lehrbuch der Physiologie der Haustiere
G. Fischer Verlag Jena, 1962

27. Keidel, W.D. — Lehrbuch der Physiologie
Thieme Verlag Stuttgart, 1970

28. Keul, J., E. Doll u. D. Keppler
Muskelstoffwechsel
J. A. Barth Verlag München, 1970

29. Kronacher, C. u. Hogreve, F.
Arbeit als konstitutionsphysiologischer Reiz. Untersuchungen an jungen Warmblut-hengsten über den Einfluß des Trainings auf das endokrine System und die Konzentrations - und Alkalitätsverhältnisse (pH-Zahl, Pufferung und Alkalireserve) des Blutserums im Zusammenhang mit Gewichtserhebungen
Zschr. Tierzüchtung u. Züchtungsbiologie, B , 30, 147-217 , 1934

30. Kronacher, C. u. Hogreve, F.
Arbeit als konstitutionsphysiologischer Reiz.Untersuchungen an jungen Warmblut-hengsten über den Einfluß des Trainings auf das endokrine System und die Konzentrations - und Alkalitätsverhältnisse (pH-Zahl, Pufferung und Alkalireserve) des Blutserums im Zusammenhang mit Gewichtserhebungen
Zschr.Tierzüchtung u. Züchtungsbiologie, B , 31, 1 - 69 , 1935

31. Laué,D.
Ein neues Tonometer zur raschen Äquilibrierung von Blut mit verschiedenen Gasdrucken
Pflügers Arch. Physiol. 254, 142-143,1951

32. Littlejohn,A.
Acid-base and Blood Gas Studies in Horses II. Tracheal End-tidal and Arterial Blood Gas Tensions in Horses
Res. vet. Sci., 10, 263- 266, 1969

33. Littlejohn,A. u. B. Mitchell
Acid-Base and Blood Gas Studies in Horses I. A Comparison of Capillary and Arterial Blood Samples for the Estimation of Acid-base Values in Horses
Res. vet. Sci. 10 , 260 - 262 , 1969

34. Luy, P. u. A. Köser
Über den Gehalt des Blutes Trakehner Fohlen verschiedener Altersstufen an Blutzucker, Rest-Stickstoff und Alkalireserve
Arch. wiss. prakt.Tierhk., Berlin 67, 347 - 357 , 1934

35. Maack, H. R. — Untersuchungen über den Säure-Basen-Zustand des Blutes bei gesunden und kranken Rindern mit Hilfe der Blut-pH-Messung
Vet.Med. Diss. Hannover , 1968

36. Marsland, W. P. — Heart rate response to submaximal exercise in the Standardbred Horse
J. Appl. Physiol. 24 (1), 98 - 101
1968

37. Robinson, S. u. P.M. Harmon — The lactic acid mechanism and certain properties of the blood in relation to training
Am. J. Physiol. 132 , 757 - 769 , 1941

38. Rein, H. u. M.Schneider — Physiologie des Menschen
11. Aufl., Springer Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1955

39. Roth, W. u. K.Eckoldt — Zum Verhalten der Parameter des Säure-Basen-Haushaltes während Belastung bei Trainierten und Untrainierten
Methoden und Probleme der angewandten und Leistungsphysiologie
18, 167 - 175 , 1967

40. Schäper, W. — Züchtungsbiologische Studien über die Reaktion des Blutes unserer Haustiere
Zschr. Tierzüchtung u. Züchtungsbiologie 19, 1 - 99, 1930

41. Scheunert,A. u. Müller, C. — Einfluß von Bewegung und sportlicher Höchstleistung auf die Blutbeschaffenheit des Pferdes
Pflügers Arch. Physiol. 212,468-476, 1926

42. Scheunert, A. u. F.W.Krzywanek — Über reflektorisch geregelte Schwankungen der Blutkörperchenmenge
Pflügers Arch. Physiol. 212,477-485, 1926

43. Scheunert, A. u. A. Trautmann — Lehrbuch der Veterinär-Physiologie 5. Aufl., Verlag P.Parey,Berlin,1965

44. Schuster, M. — Biochemisches Kriterium des Arbeitswertes und der konstitutionellen Eigenschaften bei Pferden II. Teil: Quantitatives Verhältnis zwischen Milchsäure und anorganischer Phosphorsäure im Zusammenhang mit dem Arbeitswert und der Konstitution Zschr.Tierzüchtung u. Züchtungsbiologie, B , 28 , 423 - 432 , 1930

45. Schwab, M. u. H. Wisser — Die Bestimmung des Bikarbonatgehaltes im Plasma und seine klinische Bedeutung Klin.Wschr. 36.Jg., 16, 741-749, 1958

46. Siggaard-Andersen, O. — The acid-base status of the blood 3 rd. Edition, 3rd. Printing Munksgaard, Copenhagen 1966

47. Siggaard-Andersen, O. — Sampling and storing of blood for determination of the acid-base status Scand.J. Clin. Laborat. Invest. 13, 196 - 204 , 1961

48. Solun, A.S. — Biochemisches Kriterium des Arbeitswertes und der konstitutionellen Eigenschaften bei Pferden I. Teil: Quantitative Verhältnisse zwischen Milchsäure, Blutzucker und Alkalireserve im Blute im Zusammenhang mit der Arbeitsleistung beim Pferde Zschr. Tierzüchtung u. Züchtungsbiologie, B, 28, 398 - 422, 1930

49. Strauzenberg,S.E. u. K. Feller — Beitrag zur Frage der Leistungsbeurteilung aus der Pulsfrequenzmessung bei Maximalbelastung unter Berücksichtigung einiger Stoffwechselkriterien Medizin und Sport, 7 , 101 - 104, 1967

50. Student u. R. A. Fisher — Die t - Verteilung, zitiert nach Weber, E. - Grundriß der biologischen Statistik 3. Aufl., G. Fischer Verlag Jena 1957, S. 149

51. Tevik, A. , A. W. Nelson u. W. V. Lumb — Chloroform and Halothane Anesthesia in Horses: Effect on Blood Electrolytes and Acid-Base Balance Am.J.Vet.Res. 29, 1791 - 1798,1968

52. Van Slyke,D.D.u. G. E. Cullen — (1917), zitiert nach Nr. 45, S. 744

53. Van Slyke,D.D.u. J. M. Neill — The Determination of Gases in Blood and other Solutions by Vacuum Extraction and Manometric Measurement I J. Biol. Chem. 61 , 523 - 573 , 1924

54. Van Slyke,D.D.u. J. R. Peters — (1934), zitiert nach Nr. 22

55. Visser, B. F., J. Kreukniet u. A.H.J. Maas — Increase of Whole Blood Lactic Acid Concentration during exercise as predicted from pH and pCO_2 Determinations Pflügers Arch. Physiol. 281, 300-304 1964

56. Wittke, G. — Das Ausmaß der Erythrozytenvermehrung im Blut des Pferdes während und nach der Bewegung Berliner Münchner tierärztl.Wschr. 73. Jg., 24 , 477 - 479 , 1960

57. Wittke, G. u. M. Bohn — Zur Frage der Milchsäurekonzentration im Blute des Pferdes Zschr. Biol. 111 (4), 271 - 276 ,1959

58. Krzywanek, H.D. u. G. Wittke
Parameter des Energiestoffwechsels und des Sauerstofftransports bei Vollblutrennpferden in Perioden unterschiedlicher Trainingsintensität
Int. Z. angew. Physiol. 28, 228-238 1970

59. Wittke, G. u. H.D. Krzywanek
Sportphysiologische Untersuchungen an Rennpferden
Vollblut, Zucht und Rennen 41,51-55 1970

Herrn Prof. Dr. G. Wittke möchte ich für die Überlassung des Themas und seine große Hilfe und Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit danken.
Herrn Dr.H.D. Krzywanek danke ich für die Anleitung in der Einrichtung der Methoden und für seine stete Hilfsbereitschaft.
Bei Herrn F. Blaume bedanke ich mich, daß ich die Versuche an den Pferden seines Stalles vornehmen durfte.
Nicht zuletzt gilt mein Dank Frau Döhnert für die Analyse der Blutproben auf Laktat und Herrn Dr. A. Bayer für die Registrierung der Geschwindigkeitsverläufe.

Lebenslauf

Am 21. Juni 1940 wurde ich,Arnfried Walther Schulze, als erstes Kind des Tierarztes Dr.Walther Nickel und seiner Ehefrau Gertrud, geb. Schulze, in Tilsit geboren. Später adoptierte mich mein Großvater Hugo Schulze. Nachdem ich zunächst die Oberschule mit dem Zeugnis der Mittleren Reife beendet hatte, legte ich am 3. November 1961 die Reifeprüfung für Schulfremde ab und begann mit dem Wintersemester 1962/63 das Studium der Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin.

Am 6.Oktober 1965 bestand ich die tierärztliche Vorprüfung und legte am 7. Januar 1969 die tierärztliche Prüfung ab.

Meine Praktikantenzeit leistete ich in der Klinik für kleine Haustiere, Direktor: Prof.Dr.L.F.Müller, ab.

Mit Wirkung vom 21. März 1969 wurde mir vom Senator für Arbeit, Gesundheit und Soziales in Berlin die Bestallung als Tierarzt erteilt.

Seit dem 1.April 1969 bin ich im Institut für Veterinär-Physiologie als wissenschaftlicher Assistent mit Teilzeitvertrag tätig.

Druck: Dissertationsdruckstelle, 1 Berlin 33